ORIGINAL-BAUPLÄNE DMV

Reinhard Oettel
Klaus Schlenzig

12 weitere Schaltungen

a b c d D1 D2 R1 R2 R3 R4 R5 R6 T1 T2 T3 C Rel. Tonb. −6 V +

Transistor-Elektronik für Modellbahnen (II)

Preis 1,– MDN

Originalbauplan Nr. 8

Inhaltsverzeichnis

Benutzungshinweis

Auf Wunsch zahlreicher Leser haben wir auch bei diesem Bauplan die Seiten neu gruppiert, so daß der Plan zur handlicheren Benutzung in 4 Streifen auseinandergeschnitten werden kann. Die Schnittkanten sind durch entsprechende Linien gekennzeichnet.
Der Deutsche Militärverlag, 1055 Berlin, Storkower Straße 158, würde sich freuen, Ihre Meinung zu dieser Neuerung zu erfahren.

1. Einleitung

Die gute Resonanz auf unseren ersten Bauplan zum Thema Modellbahnelektronik veranlaßte uns, weitere Anwendungsbeispiele der Elektronik auf diesem Gebiet zusammenzutragen. Auch in dem nun vorliegenden Originalbauplan Nr. 8 sollen keine komplizierten Schaltungen beschrieben werden. Der Leserkreis von Nr. 5 wird daher auch die in diesem Plan gegebenen ohne weiteres verwirklichen können.
Moderne elektronische Einrichtungen sind wichtige Faktoren bei der Meisterung der technischen Revolution in unserer Republik. In wenigen Jahren ist die Elektronik für uns alle zu einem Begriff geworden, sie hat auch die Sphäre der privaten und der in gesellschaftlichen Organisationen tätigen Bastler ergriffen.
Viele interessante Hobbys tragen zur polytechnischen Bildung bei. Durch die eigene schöpferische Betätigung erlangt man wertvolle Erfahrungen und vertieft sein Wissen über elektronische Funktionen und Grundschaltungen. Das wiederum kann auch für die berufliche Tätigkeit nützlich sein.
Auch in diesem Bauplan sollen keine kompletten Modellbahn-Funktionsanlagen beschrieben werden, sondern einzelne elektronische Einrichtungen. Diese lassen sich ohne weiteres an den entsprechenden Stellen in die vorhandenen oder geplanten Gleisanlagen einbauen. Variieren oder erweitern sollte man nach eigenem Ermessen; Kombinationen mit Schaltungen des Bauplans Nr. 5 sind ebenfalls möglich. Selbstverständlich kann auch dieser Bauplan keine grundsätzlichen Zusammenhänge der Elektrotechnik vermitteln. Kenntnisse, wie sie heute der allgemeinen Schulbildung entsprechen, müssen vorausgesetzt werden. Während wir wegen ihrer grundsätzlichen Bedeutung einige Bauelemente nochmals etwas näher beschreiben, muß aus Platzgründen auf handwerkliche Hinweise und auf den Abschnitt „Aufbau elektronischer Schaltungen" verzichtet werden. Diese Informationen kann der interessierte Leser dem Bauplan Nr. 5 entnehmen, der wahrscheinlich noch erhältlich sein wird. Aus diesem Grund empfehlen wir besonders den Überstromschutz (dort Bild 23), den man zweckmäßig auch zum Schutz der nachstehend beschriebenen Schaltungen einsetzen sollte.
In einem besonderen Abschnitt werden einige der verwendeten Bauelemente, wie Relais, Halbleiterdioden und Leistungstransistoren, näher erläutert. Über Relais wird besonders deshalb ausführlicher geschrieben, weil man oft durch eigene Berechnung und entsprechende Maßnahmen auf in der Bastelkiste enthaltene Typen zurückgreifen oder statt der zur Zeit nicht im Handel erhältlichen geeignete andere benutzen kann. Relais tauchen in vielen Bauplanschaltungen auf, weil durch sie einige Schaltungen übersichtlicher werden als mit Halbleitern, besonders für Ungeübte.
Streng genommen ist das Relais natürlich kein echtes elektronisches Bauelement. Bei der Diode dagegen läßt sich das nicht bestreiten. Das Wort „Elektronik" steht heute aber für ein viel größeres Gebiet, und den ausschließlichen Einsatz „nurelektronischer" Mittel wird man kaum antreffen. In diesem Sinne sind auch die folgenden Schaltungen zu verstehen, bei deren Nachbau wir viel Erfolg wünschen.

2. Elektronikschaltungen für die Modellbahn

2.1. Einknopfbetätigung für Weichensysteme

Mit Weichen wird der Modellbahnbetrieb interessanter, vielseitiger und wirklichkeitsnahe gestaltet. Vor allem der Rangierbetrieb ist mit mehreren Weichen besonders reizvoll. Das Betätigungssystem einer elektromagnetischen Weiche besteht aus 2 gegenüberliegenden Spulen. Zwischen diesen Spulen kann sich ein Weicheisenkern bewegen, mit dem sich die Weichenzunge verschieben läßt. Wird eine dieser Spulen vom Strom durchflossen, dann entsteht ein magnetisches Kraftlinienfeld. Dieses Feld zieht den Weicheisenkern in die Spule. Dadurch verändert sich gleichzeitig die Stellung der mit ihr verbundenen Weichenzunge. Nach Abschalten des Stromes verbleibt der Weicheisenkern in der Endstellung, obwohl kein Kraftlinienfeld mehr vorhanden ist. Wird der Stromkreis der gegenüberliegenden Spule geschlossen, dann zieht deren magnetisches Feld den Weicheisenkern und mit ihm die Zunge in die entgegengesetzte Richtung.
TT-Weichen benötigen einen Strom von etwa 0,8 A bei einer Wechselspannung von 16 V. Zur Stromversorgung werden die üblichen Zubehörtrafos benutzt. Für das Schalten der Weichen sind sogenannte Tastenpulte sehr beliebt. Jede Weiche hat mindestens 3 Anschlüsse (je nach Typ). Einer von ihnen ist gleichzeitig mit je einem Ende beider Spulen verbunden. Dieser Anschluß liegt bei üblichen Schaltungen ständig an einer Trafoklemme. Die beiden anderen Anschlüsse sind mit jeweils einem freien Ende der beiden Spulen verbunden (Bild 1). Man schaltet die einzelnen elektromagnetischen Weichen meist, indem jeder Weiche 2 Schalter am Tastenpult zugeordnet werden. Mit Hilfe einer dieser Tasten werden die Weichenzungen auf Rechts- oder Linksfahrt gelegt und mit dem zweiten Schalter wieder in die Ausgangslage (geradeaus) zurückbewegt. Das bedeutet, es müssen beim Umlegen aller Weichen einer Weichenstraße (Bild 2) 2 Schalter bedient werden, wenn ein Zug von A nach B fahren soll. Es liegt deshalb nahe, Schaltungen einzubauen, mit denen alle Weichen einer Straße durch einen Tastendruck gleichzeitig betätigt werden können. Würden aber die beiden Anschlüsse für Rechtsfahrt einfach zu einem Schalteranschluß geführt, so könnte man zwar alle Weichen gleichzeitig umlegen, aber jede Einzelbetätigung, z. B. für eine Fahrt nach Punkt C, wäre nicht mehr möglich. Sollen mehrere Weichen gleichzeitig mit einer Taste geschaltet werden, aber gleichzeitig andere Schaltmöglichkeiten erhalten bleiben, so sind Maßnahmen zur Entkopplung nötig. Dafür eignen sich Halbleiterdioden (Gleichrichter), deren grundsätzliche Funktion dann in Abschnitt 3. erläutert wird. Die Dioden setzen dem Strom zur Weichenbetätigung in einer Richtung, nämlich in der Durchlaßrichtung, nur geringen Widerstand entgegen, während sie in der anderen sperren. Dadurch wird erreicht, daß die Weichenanschlüsse, die beim Betätigen eines Schalters in Diodensperrichtung liegen, nicht ansprechen. Bei solchen Schaltungen mit Dioden ist aber zu berücksichtigen, daß der Zubehörtrafo für die Modellbahn nur 16 V abgibt. Da die Gleichrichter lediglich eine Halbwelle des Wechselstroms fast ungeschwächt zum Weichenmagneten gelangen lassen, steht nicht die volle Energie für die Weichen zur Verfügung. Deshalb kann man nur Weichen mit leicht beweglicher Zunge sicher betätigen. Bei entsprechenden Versuchen hat sich gezeigt, daß von 8 TT-Weichen sich 7 ohne Schwierigkeiten einsetzen ließen, während die 8. etwas gerichtet werden mußte.
Bild 3 zeigt die vereinfachte Schaltung einer Weichenstraße mit 3 Möglichkeiten. Zur Vereinfachung wurde der gemeinsame Leiter für alle Weichen nicht eingezeichnet. Die Anschlüsse an den Weichen bedeuten:

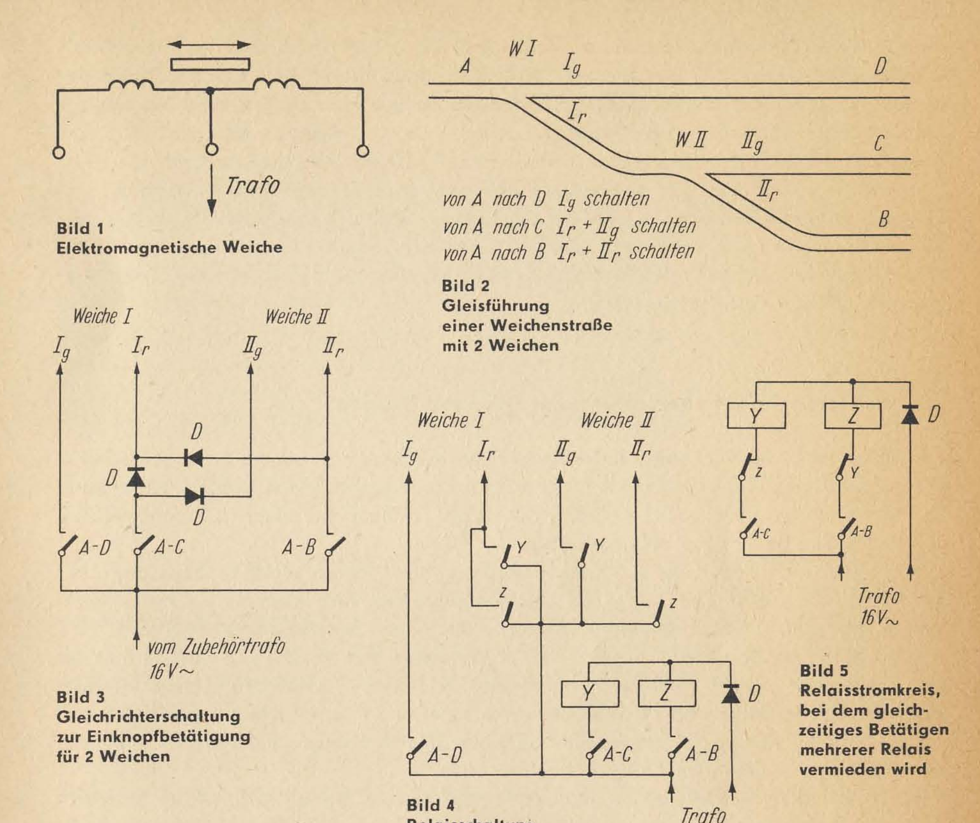


Bild 1
Elektromagnetische Weiche

Bild 2
Gleisführung einer Weichenstraße mit 2 Weichen

Bild 3
Gleichrichterschaltung zur Einknopfbetätigung für 2 Weichen

Bild 4
Relaisschaltung zur Einknopfbetätigung für 2 Weichen

Bild 5
Relaisstromkreis, bei dem gleichzeitiges Betätigen mehrerer Relais vermieden wird

Ig – Anschluß der Weiche I für Geradeausfahrt
Ir – Anschluß der Weiche I für Rechtsabbiegen
IIg – Anschluß der Weiche II für Geradeausfahrt
IIr – Anschluß der Weiche II für Rechtsabbiegen
A–B – Drucktaste (Schalter) für Fahrt von A nach B
A–C – Drucktaste (Schalter) für Fahrt von A nach C
A–D – Drucktaste (Schalter) für Fahrt von A nach D
D – Halbleiterdioden GY 110 oder ähnliche

Für Weichen, die nicht sicher mit der durch die Diodenschaltung verminderten Energie anziehen, sind Relaisschaltungen geeignet, z. B. die aus Bild 4. Die kleinen Buchstaben am Relaiskontakt zeigen die Zugehörigkeit zu dem mit dem entsprechenden großen Buchstaben bezeichneten Relais. Jedes Relais ist mit dem zugehörigen Schalter (Taste) zu betätigen. Über den Gleichrichter D fließt durch die Relaiswicklung (gleichgerichteter) Strom, und der Relaisanker schließt die Relaiskontakte. Dadurch erhalten die Weichenmagnete beide Halbwellen des Wechselstroms aus dem Trafo und schalten um. Bei einer Anordnung nach Bild 4 darf man selbstverständlich nicht mehrere Relais gleichzeitig betätigen. Um das zu vermeiden, wird jeder Relaisschaltstromkreis entsprechend Bild 5

über einen Ruhekontakt des anderen Relais geführt. Immer dann, wenn man ein Relais schaltet, öffnet dieser Ruhekontakt den Stromkreis der anderen Relais, so daß beim Betätigen anderer Schalter deren Relais nicht ansprechen können. Für die vorgestellten Schaltungen eignen sich alle Relaistypen mit der entsprechenden Kontaktzahl, deren Spulen für 12 bis 16 V ausgelegt sind und die bei Halbwellenstrom noch sicher ziehen. Relais mit Spulenwicklungen für geringere Spannungen können nach Vorschalten geeigneter Widerstände benutzt werden. Empfohlen werden Kleinstumpfrelais, wie etwa die der Reihe GBR 301 bis 303 mit 2 oder 4 Umschaltkontakten. Für geringe Kontaktzahl (2 Wechsler) läßt sich auch ein Flachsteckrelais GBR 101 oder 111 verwenden. Beim Kauf ist auf die Betriebsspannung zu achten.

2.2. Sperren einer Fahrtrichtung mit Hilfe von Dioden

Die Eigenschaft von Halbleiterdioden, dem Fahrgleichstrom für unsere Triebfahrzeuge in Durchlaßrichtung einen geringen, in Sperrichtung dagegen einen großen Widerstand entgegenzusetzen, kann man vielfältig ausnutzen. 2 Beispiele sollen die Sperrwirkung solcher Dioden für eine Fahrtrichtung zeigen.
Bild 6 stellt einen Ausschnitt aus einer Gleisanlage dar, deren Weichenabzweigung auf ein Abstellgleis führt. Der letzte Teil des Abstellgleises wird durch eine Unterbrecherschiene getrennt. Diese Unterbrecherschiene ist mit einem Germaniumgleichrichter GY 110 überbrückt. Fährt das Triebfahrzeug, von A kommend, auf Abschnitt B ein, so hält die Lok selbständig an, weil in dieser Fahrtrichtung die Diode in Sperrichtung liegt. Wird am Fahrtrafo auf Rückwärtsfahrt geschaltet, dann kann das Triebfahrzeug ungehindert aus Abschnitt B in Richtung A ausfahren, weil die Stromrichtung am Fahrtrafo umgepolt wurde und die Diode nun in Durchlaßrichtung liegt.
Bild 7 zeigt einen Gleisabschnitt mit zugbeeinflussendem Signal. Auch dieser Streckenabschnitt wurde mit Hilfe von 2 Unterbrechergleisen vom allgemeinen Fahrstromkreis getrennt. Steht das Signal auf Halt, dann ist der im Signal mit Zugbeeinflussung eingebaute Schalter S geöffnet. Der durch Unterbrechergleise getrennte Abschnitt A bleibt stromlos, so daß das Triebfahrzeug selbsttätig hält. Damit die aus der Gegenrichtung kommenden Fahrzeuge durchfahren können, wurde das Unterbrechergleis mit einer Halbleiterdiode (GY 110) überbrückt. Wird das Signal auf „Fahrt frei" geschaltet, dann schließt Schalter S, und beide Richtungen können ohne Halt durchfahren werden.

2.3. Blocksystem für Zugsicherung in 2 Richtungen

Bereits Bauplan Nr. 5 enthielt ein Blocksicherungssystem für 2 auf gleicher Strecke verkehrende Züge. Die dort beschriebene Schaltung arbeitete mit Transistorverstärkern und Relais, wirkte aber nur in einer Fahrtrichtung. Im folgenden wird nun ein Blocksystem vorgestellt, bei dem ein Auffahren zweier auf gleicher Strecke verkehrender Züge verhindert wird. Bei der beschriebenen Schaltung ist es gleichgültig, in welcher Richtung die Züge fahren. Die Schaltung erfordert Relais, deren Strombedarf zum sicheren Schalten nicht höher liegt als die Stromaufnahme eines fahrenden Triebwagens. Dabei soll der Spannungsabfall am Relais möglichst klein sein, damit genügend Spannung für den fahrenden Triebwagen verbleibt. In der vorgestellten Anlage wurden beispielsweise

20-Ω-Relais der ehemaligen Firma Stuhrmann KG verwendet. Diese Relais tragen die Bezeichnung 20–1200; 0,2–mm–CuL; FWIII 00001.
Bild 8 zeigt im Prinzip die Wirkungsweise eines Blocksicherungssystems auf einem Gleisoval. Das Oval wird durch 4 Unterbrecherschienen in 4 abschaltbare Gleisabschnitte unterteilt. Die Innenschiene ist dabei nicht unterbrochen, während die Ströme für die 4 Außenschienenabschnitte über Relais und deren Kontakte geführt werden. Befindet sich kein Zug auf den Streckenabschnitten oder ist der Fahrtrafo auf 0-Stellung (Halt), dann sind alle Relais stromlos und ihre Ruhekontakte geschlossen.
Durchfährt ein Triebwagen beispielsweise den Streckenabschnitt I in Richtung IV, dann durchfließt der Fahrstrom für diesen Triebwagen den geschlossenen Relaiskontakt a und das Relais B. Das Relais B öffnet seinen Ruhekontakt b und unterbricht damit die Stromzuführung für den Streckenabschnitt II. Fährt jetzt, aus Abschnitt III kommend, ein zweiter Zug in Abschnitt II ein, so hält er selbsttätig an. Er kann seine Fahrt erst dann fortsetzen, wenn der erste Triebwagen den Streckenabschnitt I verlassen hat, weil dann Relais B stromlos wird, dessen Kontakt b wieder schließt und Abschnitt II mit Strom versorgt. Der geschilderte Vorgang wiederholt sich ständig über die gesamte Strecke, vorausgesetzt, daß die Fahrtrichtung I–IV–III–II–I eingehalten wird. In allen anderen Fällen wird nicht

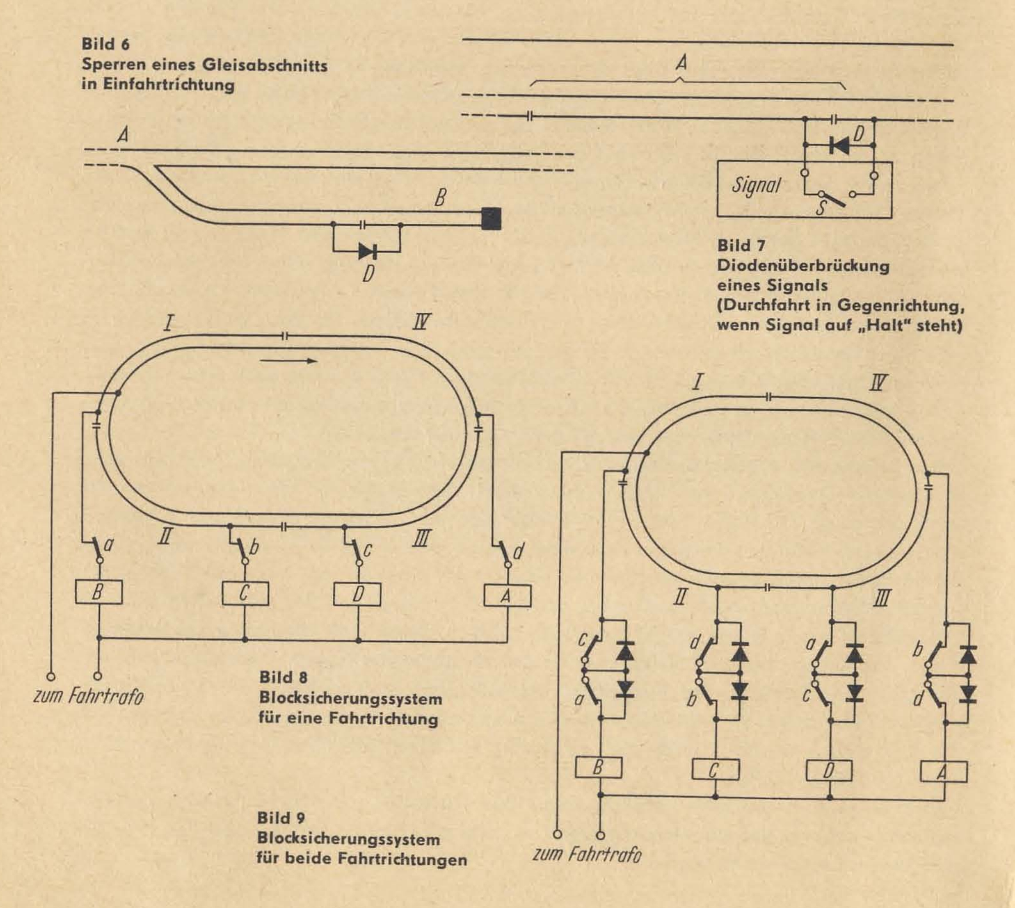


Bild 6
Sperren eines Gleisabschnitts in Einfahrtrichtung

Bild 7
Diodenüberbrückung eines Signals (Durchfahrt in Gegenrichtung, wenn Signal auf „Halt" steht)

Bild 8
Blocksicherungssystem für eine Fahrtrichtung

Bild 9
Blocksicherungssystem für beide Fahrtrichtungen

der nachfolgende Streckenabschnitt stromlos, sondern der vorhergehende. Um das Blocksicherungssystem in beiden Fahrtrichtungen nutzen zu können, setzt man Dioden ein und nutzt ihre Stromrichtungsabhängigkeit aus. Bild 9 zeigt die Schaltung dieses Blocksystems für beide Fahrtrichtungen. Selbstverständlich muß auf richtige Polung der Dioden (OY 110 oder GY 110) geachtet werden. Prinzipiell wirkt diese Schaltung wie die für eine Fahrtrichtung. Es wurden jedoch 2 Kontakte eines Relais zwischengeschaltet. Fährt beispielsweise ein Triebwagen in Abschnitt I ein, so wird Relais B betätigt und öffnet seine beiden b-Kontakte, die – allein gesehen – die Streckenabschnitte II und IV stromlos machen würden. Je nach der Fahrtrichtung ist die Stromrichtung aber unterschiedlich. Der vor der Fahrtrichtung liegende Streckenabschnitt wird durch die entsprechend gepolte Diode, die den Relaiskontakt überbrückt, mit Strom versorgt. Der der Fahrtrichtung entgegengesetzt liegende Abschnitt dagegen bleibt durch die in Sperrichtung angeschlossene Diode stromlos. Wird die Strecke entgegengesetzt befahren, so sperrt die vorher in Durchlaßrichtung betriebene Diode, während die andere die Stromversorgung des bei umgekehrter Fahrtrichtung gesperrten Abschnitts sichert.

2.4. Bahnhofsweichensystem mit selbsttätiger Umschaltung, Halt des einfahrenden und Abfahrt des vorher haltenden Zuges

Dieses Weichensystem ist für einen Bahnsteig mit 2 Gleisen vorgesehen. Der erste einfahrende Zug hält selbsttätig im Bahnsteigbereich und schaltet gleichzeitig die Weichen für das zweite Gleis um. Ein zweiter ankommender Zug kann nun auf dem zweiten Gleis einfahren und hält ebenfalls selbsttätig an. Dieser Zug schaltet dabei die Weichen auf das erste Gleis zurück, und der dort haltende erste Zug setzt seine Fahrt fort. Für eine solche Automatik, die durch die einfahrenden Züge schaltet, gibt es mehrere Varianten. In Bild 10 ist eine dieser Möglichkeiten skizziert. Die Fahrtrichtung wird von A nach B angenommen. Soll die Automatik in beiden Richtungen wirksam werden, dann ist ein zweiter Unterbrechungsgleisabschnitt für jede Abzweigung einzubauen. Außerdem muß man den Einfahrtsabschnitt mit Dioden überbrücken. In Bild 10 befinden sich beide Relais (A und B) im Ruhezustand. Ihre Anker sind also nicht angezogen, und die Kontakte nehmen die gezeichnete Stellung ein. Befährt ein Zug, aus Richtung A kommend, das obere Gleis am Bahnsteig, dann schließen die Triebwagenräder kurzzeitig den Relaisstromkreis B (das Außengleis wird mit dem Kontakt Sg I des Schaltgleises überbrückt). Relais B zieht an und schließt seine Kontakte b1 bis b3, während Kontakt b4 öffnet. Kontakt b1 bewirkt, daß Relais B auch dann angezogen bleibt, wenn der Triebwagen das Schaltgleis Sg I verlassen hat. Kontakt b3 schaltet Weiche I über Anschluß Ir auf Rechtsabzweigung, während über den gleichen Kontakt b3 über Anschluß II li Weiche II auf Linksabzweigung schaltet. Der offene Kontakt a2 veranlaßt, daß der eingefahrene Zug selbsttätig im stromlosen Unterbrechergleisabschnitt B hält. Ein zweiter aus Richtung A kommender Zug fährt nun auf dem unteren Gleis im Bahnsteigbereich ein, und sein Triebwagen bringt durch Überbrücken des Schaltgleises Sg II das Relais A zum Anziehen. Die Kontakte a1 bis a3 schließen, und a4 öffnet. Kontakt a1 bewirkt, daß Relais A gehalten wird, während a4 den Stromkreis des bisher erregten Relais B öffnet. Alle Kontakte dieses Relais nehmen nun wieder die im Bild skizzierte Lage ein. Der zweite Zug hält automatisch im Unterbrecherabschnitt C, da b2 den Stromkreis geöffnet hat. Kontakt a2 ist jedoch geschlossen, so daß Zug 1 seine Fahrt jetzt fortsetzen kann. Über Kontakt a3 hat Weiche I über Anschluß Ig seine Weichenzunge auf den geraden Gleisabschnitt umgeschaltet, ebenso

Weiche II über IIg. Zug 1 kann also Weiche I normal passieren, während über Weiche II ein dritter Zug auf das obere Bahnsteiggleis einfahren könnte. Dieser Zug würde wieder bei B halten, und der wartende Zug auf C könnte seine Fahrt fortsetzen.
Für die Bahnsteigautomatik werden 6-V-Relais mit 4 Umschaltkontakten verwendet (z. B. GBR 302). Zur Stromversorgung braucht man eine zusätzliche 6-V-Gleichstromquelle (z. B. Batterien). Mit anderen Relais oder zusätzlichen Vorwiderständen können selbstverständlich auch andere Stromquellen benutzt werden, z. B. Zubehörtrafo (16 V) über Gleichrichter.

Die Bezeichnungen in Bild 10 bedeuten:

a1 bis a4	Kontakte des Relais A
b1 bis b4	Kontakte des Relais B
I_m und II_m	Mittelleiter für beide Weichen (Nulleiter)
I_r	Anschluß für Weiche I zum Schalten auf „rechts"
I_g	Anschluß auf Weiche I zum Schalten auf „gerade"
II_l	Anschluß für Weiche II zum Schalten auf „links"
II_g	Anschluß auf Weiche II zum Schalten auf „gerade"
SgI und SgII	Schaltgleise
6 V	Zusatzstromquelle

2.5. Selbsttätige Umschaltung der Bahnsteigbeleuchtung

Für die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Bahnhofshalteautomatik läßt sich zusätzlich eine Beleuchtungsumschaltung einbauen. In der praktischen Ausführung wurden zwischen den Gleisen 2armige Peitschenlampen angebracht (Bild 11). Die bereits vorhandenen Relais für das Weichensystem übernehmen auch das Umschalten der Lampen. Bild 12 zeigt die Schaltung für die Peitschenlampen. Sobald ein Zug in das obere Gleis (s. Bild 10) des Bahnsteigs eingefahren ist und an Punkt B selbsttätig hält, hat der Relaiskontakt a3 Verbindung mit Anschluß L2. Dieser schließt den oberen Lampenstromkreis L2 (Bild 12), so daß die Peitschenlampen auf der Seite leuchten, auf der der eingefahrene Zug hält. Fährt nun ein zweiter Zug auf dem unteren Bahnsteiggleis ein, so hält er selbsttätig an Punkt C (Bild 10), und Relaiskontakt a3 schaltet die Lampen ab. Relais B ist jetzt stromlos, und sein Kontakt b3 schaltet auf L1. Nun leuchten die dem anderen Gleis zugewandten Peitschenlampen auf dem Bahnsteig auf (L1, Bild 12). Zu einer Beleuchtung, die von der jeweiligen Weichenstellung abhängt, kann man bei TT-Weichen auch die Rückmeldeleitungen ausnutzen.

2.6. Dämmerungsschalter zum selbsttätigen Einschalten der gesamten Modellbahnbeleuchtung bei Dunkelheit

Sehr reizvoll ist es, wenn die Modellbahnanlage mit einer Dämmerungsschaltung versehen ist. Bei Zimmerbeleuchtung sind alle Gleis-, Bahnhofs- und Streckenbeleuchtungen abgeschaltet. Wird nun die Raumbeleuchtung abgeschaltet oder das Tageslicht durch Verdunkeln der Fenster gedämpft, dann schaltet sich automatisch die gesamte Modellbahnbeleuchtung ein. Das übernimmt ein sogenannter Dämmerungsschalter.
Bild 13 zeigt eine sehr einfache Schaltung, die für den geplanten Zweck ausreicht. Zur Eigenstromversorgung der Schaltung wurde eine 6-V-Gleichstromquelle (2 Stabbatterien

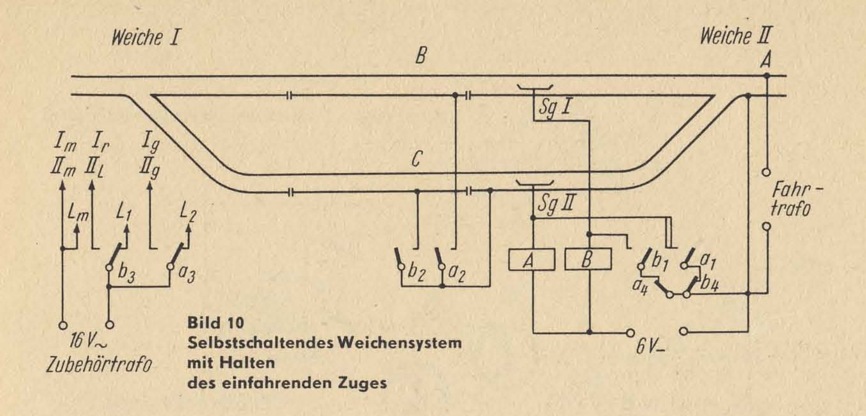


Bild 10
Selbstschaltendes Weichensystem mit Halten des einfahrenden Zuges

Bild 12
Selbsttätiger Umschalter für Bahnsteigbeleuchtung

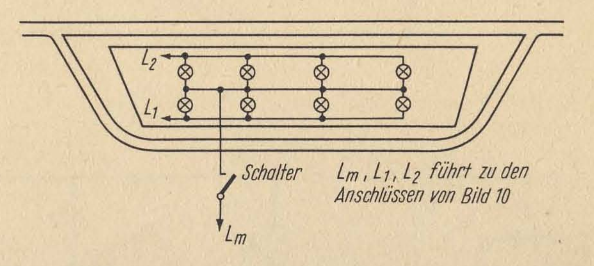
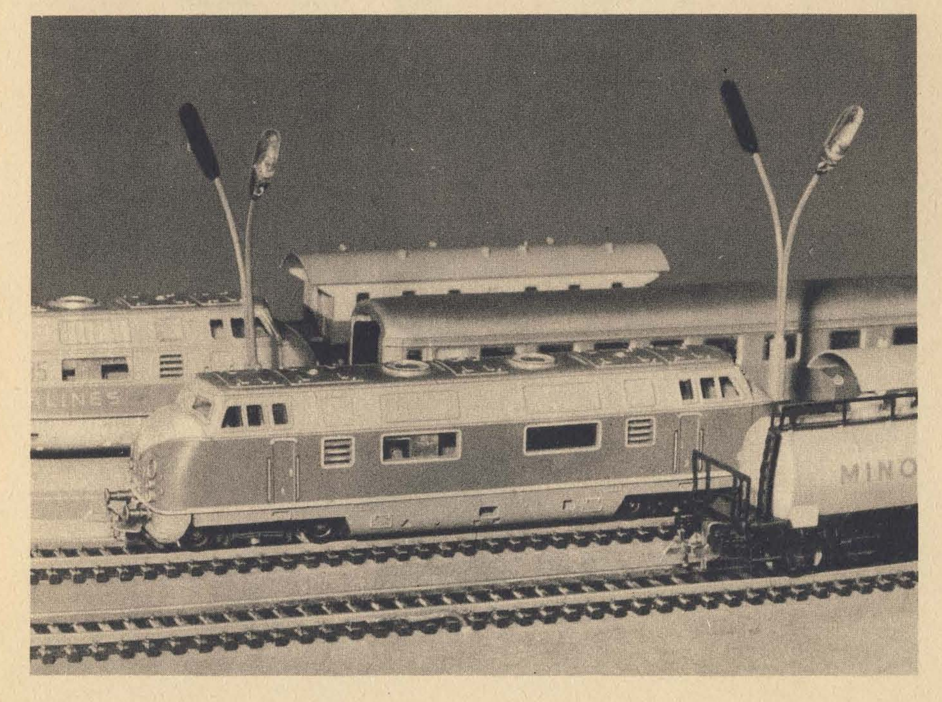


Bild 11
Praktische Ausführung einer Bahnsteigbeleuchtung



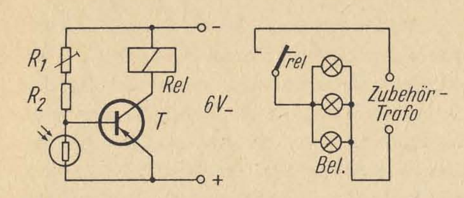


Bild 13
Einfacher Dämmerungsschalter

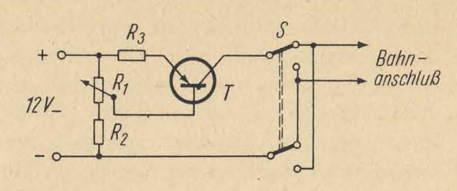


Bild 15
Transistorfahrstromregler

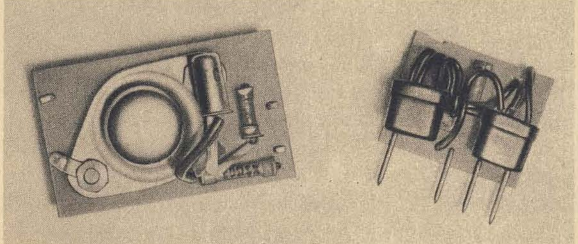
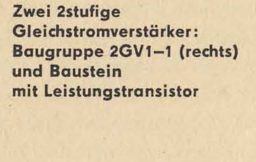



Bild 14
Zwei 2stufige Gleichstromverstärker: Baugruppe 2GV1–1 (rechts) und Baustein mit Leistungstransistor

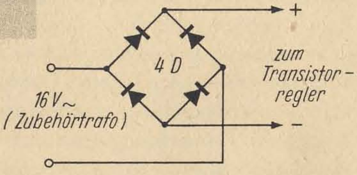


Bild 16
Graetz-Gleichrichter mit 4 × GY 100 für Regler nach Bild 15

oder 4 Monozellen) benutzt. Im Relaisstromkreis befindet sich die Emitter-Kollektor-Strecke eines Transistors. Diese Transistorstrecke hat einen hohen Widerstand, wenn durch die Basis-Emitter-Strecke nur ein geringer Strom fließt. Wäre der in Bild 13 eingezeichnete Fotowiderstand nicht vorhanden, dann sorgten die Widerstände R1 und R2 dafür, daß der Basisstrom groß würde. In diesem Fall ist dann der Widerstand der Emitter-Kollektor-Strecke gering, und das Relais spricht an. Der zwischen Basisanschluß und Pluspol der Batterie liegende Fotowiderstand hat die Aufgabe, nur einen Teil des über die Widerstände fließenden Stromes in den Transistor gelangen zu lassen (Stromverzweigung). Je nach dem augenblicklichen Innenwiderstand dieses Fotowiderstands, der zwischen mehreren 100 Ω und einigen MΩ liegen kann, fließt im Basisstromkreis viel oder wenig Strom. Das Relais wird dann entweder erregt und schaltet seine Kontakte ein, oder der Relaisanker zieht nicht an.

Der praktische Aufbau einer solchen Automatik kann in einer kleinen durchsichtigen Kühlschrankdose erfolgen, die auch die Batterie enthält. Der Fotowiderstand wird so angeordnet, daß er durch den durchsichtigen Dosenteil der Raumhelligkeit ausgesetzt ist. Relais, Widerstände und Transistor montiert man auf einer kleinen, 1 mm dicken Hartpapierplatte. Aus der Dose werden nur die beiden Anschlüsse zum Einschalten der Beleuchtung geführt. Widerstand R1 ist ein kleiner Einstellregler (1/10 W). Bei abgedunkeltem (verdecktem) Fotowiderstand wird der Regler so eingestellt, daß das Relais sicher anzieht. Im Hellen muß bei richtiger Einstellung das Relais abschalten. Um ausreichende Hell/Dunkel-Unterschiede zu erreichen, sollte man den Fotowiderstand auf die Lichtquelle ausrichten.

Verwendete Bauteile und Bezeichnungen in Bild 13

R1 – Einstellregler 10 kΩ 1/10 W
R2 – Schichtwiderstand 1 kΩ, 1/10 W

Rel – geeignetes Relais, z. B. GBR 301 oder 302 (für 6 V)
rel – Schaltkontakte des Relais
T – Transistor GC 121 o. ä., Stromverstärkung > 50
Bel – gesamte Modellbahnbeleuchtung

Als Fotowiderstand eignet sich der Typ CdS 8.

Für alle, die sich den Selbstbau des Dämmerungsschalters erleichtern wollen, sei auf den steckbaren Baustein 2GV1–1 des VEB Meßelektronik Berlin verwiesen. In den RFT-Industrieläden, z. B. Versandgeschäft 8023 Dresden, Bürgerstraße 47, wird dieser Bausatz vertrieben (Bild 14). Dieser Gleichstromverstärker ist bedeutend empfindlicher als der beschriebene und außerdem vielseitig, z. B. läßt er sich auch als Lichtschranke einsetzen.

2.7. Stufenlose Geschwindigkeitsregelung

Oft möchte man die Kosten für einen teuren Fahrtrafo sparen oder mehrere Züge regeln können, obwohl nur ein Trafo vorhanden ist. Mitunter soll auch die Stufeneinstellung eines Fahrtrafos durch eine stufenlose Regelung ersetzt werden. Für solche Zwecke eignen sich Leistungstransistoren, die als regelbare Widerstände betrieben werden.

Bild 15 zeigt eine solche Schaltung. Ein Leistungstransistor wird mit seiner Emitter-Kollektor-Strecke zwischen einen Pol der Gleichstromquelle und den „Verbraucher" geschaltet. Bekanntlich hängt die Größe des durch die Strecke Kollektor – Emitter fließenden Stromes ab vom Strom durch die Strecke Basis – Emitter. Der Kollektorstrom ist also durch den viel kleineren Basisstrom stufenlos einstellbar. („Einstellen" statt „Regeln" ist für diesen Vorgang eigentlich auch das technisch bessere Wort.)

Dieser Transistorregler braucht Gleichspannung. Man kann die in Reihe geschalteten Trockenbatterien mit einer Gesamtspannung von etwa 12 V entnehmen. Wirtschaftlicher ist allerdings eine Gleichrichterschaltung nach Bild 16, die an den 16-V-Ausgang des Zubehörtrafos angeschlossen wird.

Mit Hilfe einer entsprechenden Anzahl von Transistorreglern lassen sich auch aus einem voll aufgedrehten Fahrtrafo die Geschwindigkeiten mehrerer Züge unabhängig voneinander regeln.

Bei Anschluß und Aufbau des Transistorfahrstromreglers ist unbedingt darauf zu achten, daß die Polarität beim Anschalten der Stromquelle eingehalten wird. Wegen der Stromrichtungsabhängigkeit der Transistorschaltung kann das Umpolen zum Fahrtrichtungswechsel erst nach der Regelschaltung erfolgen. Zum Umschalten von Vor- auf Rückwärtsfahrt eignet sich ein beliebiger 2poliger Schalter, z. B. ein 2poliger Kippeinbauschalter.

Die Regelschaltung selbst funktioniert wie folgt: Die Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors kann man sich als zunächst hohen Widerstand vorstellen, der mit größerem Basisstrom sinkt. Zur Regelung des Basisstroms dient der aus dem regelbaren Widerstand R1 (Potentiometer) und R2 gebildete Spannungsteiler. Je nach der Einstellung von R1 wird der Basisstrom erhöht oder verringert. Die Fahrgeschwindigkeit der Züge erhöht oder vermindert sich dementsprechend. Widerstand R2 dient als Schutzwiderstand und begrenzt den Basisstrom. Fehlt er, so gelangt der Schleifer des Potentiometers R1, wenn man ihn ganz nach unten dreht, an −12 V. Das führt zur sofortigen Zerstörung des Transistors. Widerstand R3 baut man ebenfalls zum Schutz der Anlage ein. Durch ihn wird die Regelschaltung gegen Kurzschluß weniger empfindlich (wichtig z. B. beim Entgleisen von Zügen).

Der Aufbau der gesamten Einrichtung ist unkritisch. Auf jeden Fall muß der Leistungstransistor auf einer Kühlfläche montiert werden. Alublech (100 cm²) ist zur Wärmeableitung gut geeignet. Es kann, zu einem kleinen Chassis gebogen, auch zur Montage des Potentiometers dienen, wenn dessen Gehäuse nicht mit den Anschlüssen verbunden ist (kommt bei einigen Typen von Drahteinstellreglern vor!). Soll der Transistorregler nicht direkt an der Bahnanlage befestigt werden, dann kann man alle Teile in einer Plastedose einbauen. Man führt dann nur Stromversorgungs- und Gleisanschlüsse an seitlich angebrachte Buchsen. Außerdem ist eine Bohrung für die Potentiometerachse nötig, damit der Regelknopf von außen zugänglich wird. Ein solches kleines Gerät läßt sich auch für andere Zwecke, z. B. als Regler zum Laden von Sammlern o. ä., einsetzen.
Im Mustergerät verwendete Teile:

- T – 4-W-Transistor (GD 170 oder 4-W-Bastlertyp)
- R1 – Potentiometer 100 Ω, 1 W, evtl. sog. Entbrummer
- R2 – Widerstand 100 Ω, 1 W
- R3 – Widerstand 5 Ω, 2 W (4,7 bis 5,1 Ω)
- S – 2poliger Umschalter, evtl. 2poliger Kippeinbauumschalter

2.8. Selbsttätige Abfahrt- und Halteverzögerung

In der täglichen Produktionspraxis kommt es häufig vor, daß von Elektromotoren angetriebene Maschinen beim Einschalten große Massen in Bewegung zu setzen haben. Dabei ist kein plötzlicher Übergang möglich. Jedem wird bekannt sein, daß z. B. ein Kraftfahrzeug durch entsprechende Regelung mit Gaspedal, Kupplung und Gangschaltung (Getriebeübersetzung) langsam vom Stand auf volle Fahrt gebracht werden muß. Ähnliche Verhältnisse des langsamen Anfahrens mit anschließender Beschleunigung treten natürlich auch bei Schienenfahrzeugen auf. In unserer Modellbahnanlage ahmen wir das langsame Anfahren mit Hilfe des Fahrstromreglers nach. Bei vielen Produktionsprozessen hat man bereits seit langem für die Anfahrtsregelung eine Automatik eingesetzt; z. B. werden E-Motoren mit selbsttätigen Stern-Dreieck-Schaltern versehen. Die Bedienungsperson braucht dadurch nicht mehr den gesamten Regelvorgang selbst zu erledigen, sondern kann sich sofort nach Betätigen eines Einschaltknopfs oder Hebels auf etwas anderes konzentrieren, z. B. auf das Werkstück oder auf die Fahrstrecke.
Abgeleitet von solchen in der Praxis angewendeten Techniken, wurde auch für die Modellbahn ein selbsttätiger Anfahrtregler geschaffen (Vorsicht, diese Schaltung ist nicht kurzschlußfest!).
Durch Betätigen eines einfachen Schalters oder eines Druckknopfs setzt sich der Zug langsam in Bewegung und beschleunigt seine Fahrt so lange, bis er die gewünschte Fahrgeschwindigkeit erreicht hat. Zum Anhalten des Zuges wird wieder nur der Schalter betätigt. Der Triebwagen vermindert daraufhin seine Fahrt langsam wie bei einer normalen Bremsung, bis er zum Halten kommt. Unser mit Verzögerung arbeitender Fahrstromregler bewirkt, daß nach dem Einschalten der Fahrstrom langsam selbsttätig ansteigt, bis er den gewünschten Endwert erreicht hat. Beim Abschalten vermindert sich der Fahrstrom langsam vom vollen Wert ebenfalls selbsttätig, bis der Zug hält. Prinzipiell erreichen wir den gewünschten Effekt mit einer Schaltung nach Bild 17.
Die Stromquelle (Spannung U– etwa 12 V), das Triebfahrzeug (Gleis) und die Kollektor-Emitter-Strecke eines Transistors bilden den Fahrstromkreis. Ist Schalter S geöffnet, dann sperrt der Transistor T, weil kein Basisstrom fließen kann. Der Triebwagen steht (hält). Schließen wir Schalter S, so beginnt über den Widerstand R1 ein Basisstrom zu fließen.

Dieser Basisstrom erreicht aber erst langsam seinen Höchstwert, weil parallel zur Basis-Emitter-Strecke von T neben R2 noch ein Kondensator C liegt. Dieser lädt sich über R1 entsprechend seiner Kapazität allmählich auf den vollen Spannungswert auf. Daher öffnet Transistor T nur langsam, und der Strom im Fahrstromkreis erhöht sich entsprechend. Unser Zug fährt an und beschleunigt seine Fahrt zeitlich verzögert bis zur Reisegeschwindigkeit. Beim Öffnen des Schalters S wird die Basis nicht sofort stromlos, da Kondensator C sich nur langsam über R2 entlädt. Demgemäß wird der Widerstand der Kollektor-Emitter-Strecke von T langsam größer, und unser Zug verlangsamt seine Fahrt (bremst), bis er zum Stehen kommt. Werden R1 und R2 durch Regelwiderstände ersetzt, dann kann man Anfahrts- und Bremszeit nach eigenen Wünschen einstellen.
Eine erprobte Schaltung zeigt Bild 18; ihre Bauelemente sind unten zusammengestellt.
Der Regeltransistor T2 ist ein 4-W-Leistungstransistor. Um mit günstigen R- und C-Werten arbeiten zu können, wurde der Basis dieses Transistors als T1 ein GC 301 vorgeschaltet. R4 und R5 begrenzen die Basisströme von T1 und T2 und dienen als Schutzwiderstände. R1 und R2 bilden einen Spannungsteiler, wobei R1 evtl. durch Ausprobieren bei voll aufgedrehtem R3 so gewählt wird, daß der Fahrstromkreis über T2 vollen Strom für die höchste gewünschte Geschwindigkeit erhält. Für den Basisstromkreis von T1 und alle Regelglieder gestattet der geringe Stromverbrauch den Einsatz einer eigenen konstanten Gleichspannungsquelle von 4,5 bis 6 V (Trockenbatterien). Zur Fahrstromversorgung dient entweder der aufgeregelte Fahrstromtrafo oder eine andere Gleichstromquelle entsprechender Spannung (und Leistung).
Wegen der Transistoreigenschaften muß selbstverständlich die Polarität beachtet werden. Aus diesem Grunde kann auch der Fahrtrichtungswechsel nur mit Schalter S4 erfolgen und nicht durch Umpolen der Fahrstromquelle. Schalter 4 soll man möglichst nur nach dem Halten der Züge betätigen. Das Anfahren der Züge kann durch Schalter S eingeleitet werden. Schließt man diesen, so wird der Kondensator C über R1 und R3 aufgeladen. Die Aufladezeit von C läßt sich durch den regelbaren Widerstand R3 einstellen. Der Aufladung folgend, öffnet über T1 langsam der Transistor, und unser Triebwagen erreicht seine Reisegeschwindigkeit. Öffnet man S, so entlädt sich C über R3 und R2. Der Zug verzögert seine Fahrt und hält nach Ablauf der Bremszeit. Statt mit S kann man auch mit S1 anfahren oder halten. (S bleibt geschlossen.) Öffnen von S1 bedeutet Anfahren, Schließen von S1 Halten. Wird für R2 ein regelbarer Widerstand verwendet, so läßt sich durch Veränderung des Spannungsteilerverhältnisses mit R2 die Endgeschwindigkeit (Reisegeschwindigkeit) des Zuges einstellen.
Führt man, wie in Bild 18 eingezeichnet, den Schleiferanschluß des Reglers R2 über einen Schalter, so kann man folgendes erreichen: Schließt man S2, wenn der Zug mit Reisegeschwindigkeit fährt, dann entlädt sich C langsam über R2 so weit, bis die C-Ladung den neuen Spannungsverhältnissen zwischen R1 und dem nicht über S2 kurzgeschlossenen Teil von R2 entspricht. Der Basisstrom von T2 sinkt langsam, und der Zug vermindert seine Fahrt bis zur neuen, langsameren Reisegeschwindigkeit. Wird S2 geöffnet, dann steigt die Ladung von C wieder, und der Zug beschleunigt erneut seine Fahrt. Mit Hilfe dieses Schalters kann man ohne Betätigen eines Regelknopfs mit einem Handgriff die Geschwindigkeit ändern. Dabei verläuft Vermindern und Beschleunigen immer allmählich, wie es der Praxis entspricht. Schließt man S2 ständig und regelt den Widerstand von R3 auf 0, dann läßt sich R2 wie ein Fahrtraforegler bedienen, weil die Zeitverzögerung durch die geringen Werte von R1 und R2 kaum wirkt. Schalter S3 sorgt bei Betätigung für sofortige Entladung von C über einen kleinen Widerstand R6 und kann als „Notbremse" benutzt werden.

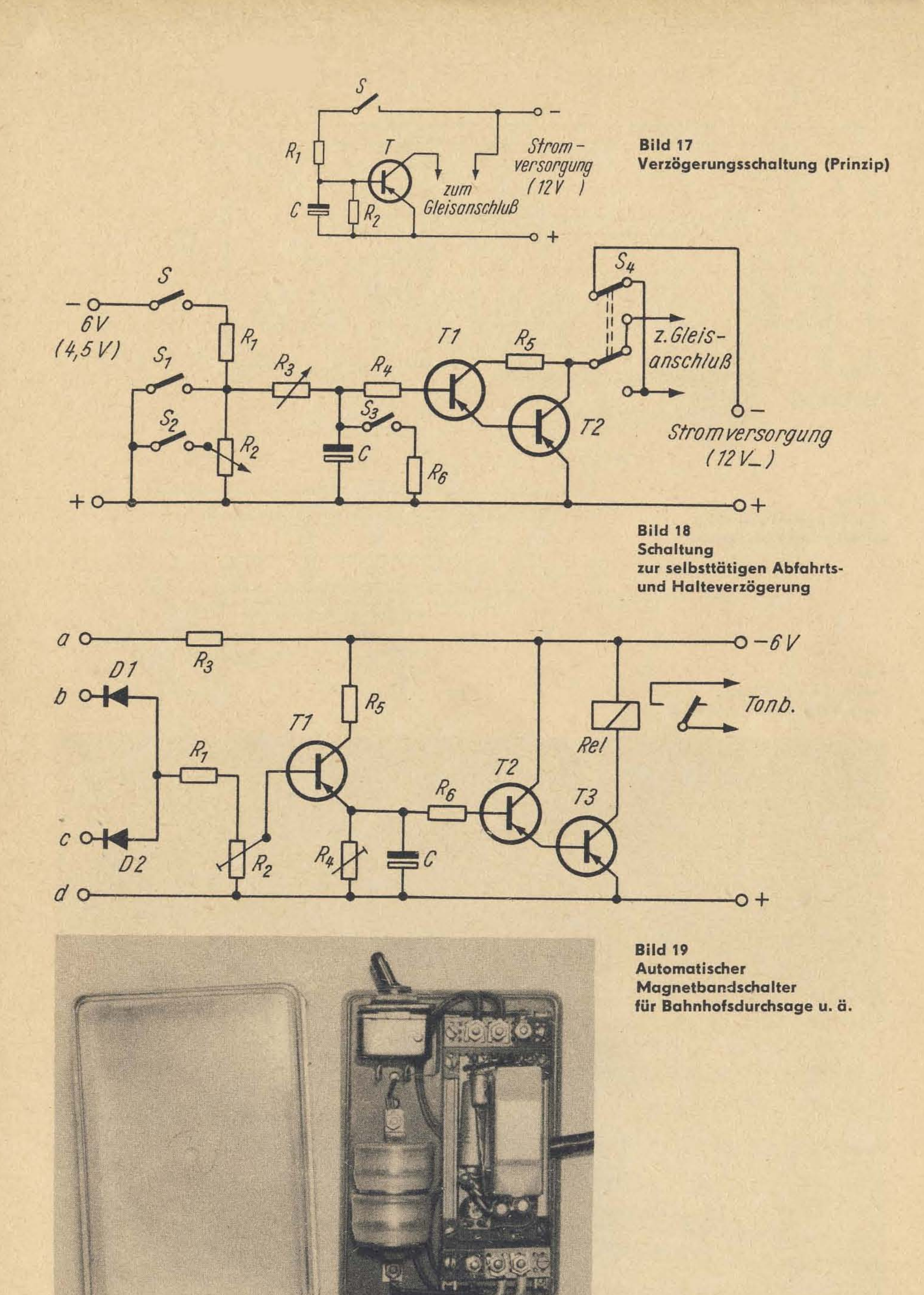


Bild 17
Verzögerungsschaltung (Prinzip)

Bild 18
Schaltung
zur selbsttätigen Abfahrts-
und Halteverzögerung

Bild 19
Automatischer
Magnetbandschalter
für Bahnhofsdurchsage u. ä.

Bild 20
Praktische Ausführung
der Schaltung nach Bild 19

Der praktische Aufbau wird wieder von den persönlichen Wünschen abhängen. Verzichtet man auf eine Montage innerhalb der Bahnanlage, dann bietet sich auch in diesem Falle ein gesondertes kleines, auch für andere Zwecke einsetzbares Gerät an. Wird das Regelgerät mit seiner Regelstromquelle (ohne Fahrstromquelle) z. B. in eine Kühlschrankdose eingebaut, so kann der Regler auch als Zeitschalter verwendet werden. Schaltet man zwischen –6 V der Regelstromquelle und den Kollektoranschluß von T2 (mit R5) ein passendes Relais, so lassen sich über dessen Kontakte Stromkreise zeitlich verzögert aus- und einschalten. Die Werte für die Widerstände und für den Kondensator des Reglers sind von den Transistordaten abhängig. Die nachfolgend genannten Materialien wurden im Versuchsgerät verwendet:

R1	Widerstand 2 kΩ 1/10 W (1,8 bis 2,2 kΩ)
R4	Widerstand 5 kΩ 1/20 W (4,7 bis 5,1 kΩ)
R5	Widerstand 100 Ω 1/4 W
R6	Widerstand 100 Ω 1/4 W
R2	Potentiometer 5 kΩ 1/10 W (lin)
R3	Potentiometer 100 kΩ 1/10 W (lin)
S	Kippeinbauschalter, 1polig
S1	Kippeinbauschalter, 1polig
S2	Kippeinbauschalter, 1polig
S3	Kippeinbauschalter, 1polig
S4	Kippeinbauumschalter, 2polig
T1	Transistor GC 301 mit Kühlkörper
T2	4-W-Leistungstransistor (GD 170 oder geeigneten Basteltyp)
C	Elektrolytkondensator 100 bis 500 μF 15 V

Stromquelle für den Regelkreis: 4,5-V-Flachbatterie oder 3 Kleinakkus RZP 2
Buchsen für Gleisanschluß und Fahrstromquelle
Bedienungsknöpfe für Potentiometer

2.9. Automatische Lautsprecherdurchsagen an Bahnsteigen mit Zugselbsthalteautomatik

In der letzten Zeit wurde in Verbindung mit Modellbahnanlagen viel von Tonfrequenzsteuerung gesprochen. Es gibt eine ganze Anzahl Verfahren und Möglichkeiten, niederfrequente Wechselströme des Tonfrequenzbereichs (etwa 20 Hz bis 20 kHz) in den Anlagen für Steuer- und Regelzwecke auszunutzen und z. B. mehrere Triebwagen unabhängig voneinander auf einem Gleisstromkreis verkehren zu lassen. Für jeden Triebwagen wird mit Hilfe von Filtereinrichtungen ein schmaler Frequenzbereich (z. B. 800 . . . 850 Hz) ausgesiebt. Nur wenn man diese Frequenz dem Gleis zuführt, bewegt sich die Lok vorwärts. Das Band von 1000 . . . 1050 Hz könnte beispielsweise für Rückwärtsfahrt genutzt werden. Die Fahrgeschwindigkeit regelt man mit der Amplitude (Lautstärke des niederfrequenten Tones). Einem zweiten oder dritten Triebwagen würde man entsprechend andere Frequenzbereiche zuordnen. Mit solchen Mitteln ist es möglich, den gesamten Zugverkehr mit einem Tonbandgerät programmäßig ablaufen zu lassen.
Über eine dieser Möglichkeiten soll berichtet werden, und zwar über die Magnetbandautomatik für eine automatische Lautsprecheranlage. Voraussetzung ist ein geeignetes Magnetbandgerät, dessen Bandvorlaufschaltung mit Niederspannung arbeitet (z. B. das ČSSR-Gerät „Sonett B 4"). In diesem Gerät kann das Schalten des Bandvorlaufs gefahr-

los über Relaiskontakte erfolgen. Der notwendige Anschluß (für sogenannte Fernbedienung) ist am Gerät vorgesehen. Auch ein „Bändi"-Gerät eignet sich, bei dem die gesamte 6-V-Stromversorgung einfach über den Relaiskontakt des nachfolgend beschriebenen Selbstschalters geführt wird.
Bild 19 zeigt das Schaltbild eines automatischen Magnetbandschalters. Im Ruhezustand sind alle Transistoren gesperrt, und das Relais erhält keinen Strom. Der Relaiskontakt ist geöffnet, das Magnetbandgerät (Bandvorschub) ausgeschaltet. Soll nun eine selbsttätige Stationsansage mit der bereits beschriebenen Halteeinrichtung verbunden werden, so muß man vor der Zughaltestelle (am Bahnsteig) einen Schienenkontakt (Schaltgleis) einbauen. Es ergibt sich folgender Ablauf: Ein fahrender Zug überbrückt, bevor er hält, kurzzeitig die Schaltgleiskontakte. Diese verbinden die in der Schaltung mit a und b bezeichneten Anschlüsse. Über R3 – D1 – R1 und R2 fließt im Basiskreis des Transistors kurzzeitig Strom und öffnet diesen. Über R5 wird der Kondensator C sofort aufgeladen. Im Basiskreis von T2 führt der Stromfluß zum Öffnen von T2 und damit auch von T3. Das Relais zieht an und schließt seinen Kontakt. Kondensator C kann sich nur langsam über R4 entladen und gewährleistet, daß T2 und T3 einige Sekunden geöffnet bleiben. T1 dagegen sperrt sofort wieder, nachdem die Verbindung zwischen a und b nach beendeter Überfahrt durch den Triebwagen wieder aufgehoben ist. Die wenigen Sekunden, die bis zur Entladung von C verbleiben, genügen, um das Magnetbandgerät (Vorschub) in Gang zu setzen. Das Bandgerät setzt nun sofort über den eingebauten Lautsprecher mit der vorher aufgesprochenen Stationsansage ein. Der Anschluß für den Außenlautsprecher oder der Höranschluß (zum Mithören) am Magnetbandgerät ist mit c und d unseres Schaltgeräts verbunden. Über c und d wird dem Gerät die NF-Spannung (Tonfrequenz) zugeführt. Die Diode D2 läßt nur die negativen Halbwellen zum Transistor T1. T1 wird nun im Rhythmus dieses gleichgerichteten Stromes ganz oder teilweise geöffnet. T1 lädt dadurch C ständig nach. Das Relais bleibt angezogen, das Magnetband kann weiter ablaufen. Erst wenn die Durchsage beendet ist und mehrere Sekunden keine NF-Spannung mehr zugeführt wird, entlädt sich C. Die Transistoren T2 und T3 sperren, und das Relais setzt mit seinem Kontakt den Bandvorschub still. Beim „Bändi" wird in diesem Falle die gesamte Stromversorgung ausgeschaltet. Spricht man die gesamte Stationsdurchsage auf ein Stück Band auf und läßt noch etwa 6 s unbesprochene Bandlänge, so kann man beide Bandenden zusammenkleben und erhält eine Bandschleife. Jedesmal, wenn ein Zug einfährt, schaltet er nun, kurz bevor er am Bahnhof hält, die Bandschleife zur Stationsansage ein, und das Bandgerät schaltet automatisch nach beendeter Ansage wieder ab.

Die beschriebene Schaltung setzt eine gewisse Erfahrung voraus und ist vor allem für solche Leser gedacht, die bereits mit Transistoren gearbeitet haben. Die Werte der Widerstände und des Kondensators sind entsprechend der Stromverstärkung der Transistoren mitunter ein wenig umzudimensionieren.

Bei höheren Transistorrestströmen können evtl. noch geeignete Widerstände zwischen Basis und Plus eingefügt werden.
Der Regler R2 dient zur Einstellung der Empfindlichkeit, vor allem zur Anpassung an den Lautsprecher oder an den Hörerausgang des Magnetbandgeräts.
Regler R4 wird zur Einstellung der Entladezeit von C benutzt.
Werte im Mustergerät:

R1 Widerstand 10 kΩ 1/20 W
R2 Einstellregler 250 kΩ 1/10 W
R3 Widerstand 50 kΩ 1/20 W (47 bis 51 kΩ)

R4 Einstellregler 100 kΩ 1/10 W
R5 Widerstand 100 Ω 1/20 W
R6 Widerstand 50 kΩ 1/20 W (47 bis 51 kΩ)
D1 Germaniumdiode OA 705
D2 Germaniumdiode OA 705
T1 Transistor 120 mW, β 50 bis 100 (GC 121)
T2 Transistor 120 mW, β 50 bis 100 (GC 121)
T3 Transistor 120 mW, β 50 bis 100 (GC 121)
C Miniaturelko 20 bis 50 μF 6 V
Rel Relais GBR 302

Stromversorgung 6-V-Gleichstromquelle (Trockenbatterie)
Bild 20 zeigt den Aufbau in einer Kühlschrankdose, die als Stromquelle gasdichte NK-Zellen enthält.

3. Bauelemente für die Modellbahnelektrik

Dieses Kapitel soll vor allem auf einige Besonderheiten von Relais, Diode und Leistungstransistor näher eingehen, soweit sie für die Modellbahnelektronik interessant sind. Aus Gründen der Vollständigkeit beginnen wir jeweils nochmals mit den in Bauplan Nr. 5 gegebenen Informationen und erweitern diese für die genannten Fälle. Im übrigen sei auf die 3 Bauelemente-Broschüren der Reihe „Der praktische Funkamateur" verwiesen (H. 23, 37, 46).

3.1. Widerstand

Diesem Bauelement begegnet man in nahezu jedem elektronischen Gerät. Im vorliegenden Bauplan spielt es allerdings nur eine untergeordnete Rolle.
Mit Widerständen werden die verschiedenen notwendigen Spannungen in der Schaltung aus der Versorgungsspannung gewonnen. Für sie gilt das Ohmsche Gesetz $I = \frac{U}{R}$.
In den beschriebenen Schaltungen werden Kohleschichtwiderstände benutzt. Je größer sie sind (volumenmäßig gesehen), um so höher kann man sie belasten, denn anliegende Spannung und durchfließender Strom erzeugen in ihnen Wärmeleistung: $P = U \cdot I$. Die Kennzeichnung der kleinen Typen besteht meist aus einem Farbkode: 3 Farbpunkte geben den Wert, 1 oder 2 weitere die Toleranz an, die in diesem Falle weniger interessiert. Randnächster Punkt: erste Ziffer, zweiter Punkt: zweite Ziffer des Wertes (bei der alten Gruppierung nach DIN steht an dieser Stelle meist eine Null), dritter Punkt: Zahl der restlichen Nullen. Die Farbskala lautet:

braun	= 1	blau	= 6
rot	= 2	violett	= 7
orange	= 3	grau	= 8
gelb	= 4	weiß	= 9
grün	= 5	schwarz	= 0

In den Stücklisten werden zur größeren Auswahl immer „Bastelkisten"-Werte nach den früher üblichen DIN neben den modernen IEC-Werten genannt.
Widerstände, bei denen man außen beliebige Teilwerte abgreifen kann, heißen Potentiometer, Regler oder Einstellwiderstände.

3.2. Signalquelle Fotowiderstand

Der Fotowiderstand zählt zu den Halbleitern. Seine Leitfähigkeit wächst mit der auf ihn auftreffenden Strahlung. Eine an ihn angeschlossene Batterie treibt dadurch einen entsprechend wachsenden Strom durch den Widerstand.
Der Dunkelwert des Fotowiderstands liegt bei einigen Millionen Ohm; er sinkt im Hellen auf wenige Tausend Ohm. Nach dem Ohmschen Gesetz kann man also weitgehend bei bestimmter Helligkeit den Strom bestimmen:

$$I_{hell} = \frac{U_{Batt}}{R_{hell} + R_{Schutz}}$$

R_{Schutz} stellt einen zusätzlichen Widerstand im Stromkreis dar, der den Strom begrenzt, sonst kann dieser leicht für den Transistor (in dessen Eingangskreis man ihn meist zwecks Verstärkung schaltet) und für den Fotowiderstand schädliche Werte annehmen. Ebensogut läßt sich ein Fotowiderstand auch einem anderen Widerstand parallelschalten. Im Dunkeln wirkt dann nur der Ohmsche Widerstand, bei Beleuchtung geht der Gesamtwert der Parallelschaltung entsprechend zurück.

3.3. Diode

Halbleitergleichrichter, also je nach Aufbau Spitzen- oder Flächendioden, lassen bei entsprechender Polung den Strom fast ungehindert durch und sperren ihn in der anderen Richtung bis zu einer typenabhängigen Sperrspannung. Die Abhängigkeit des Stromes von der Polung wird in unseren Anwendungen zum Gewinnen der Gleichspannung für die Anlage und zur polungsabhängigen Stromführung ausgenutzt.
Man kann ein Bauelement, abhängig von seiner Größe und von der zulässigen Eigentemperatur, mit einer bestimmten Leistung belegen. Eine Diode, bei der in Durchlaßrichtung ein bestimmter Spannungsabfall entsteht, erwärmt sich durch diese Verlustleistung, ausgedrückt durch das Produkt aus Spannungsabfall und Durchlaßstrom. Die Kennlinie einer Diode (Bild 21) zeigt, daß diese Leistung vom Durchlaßstrom abhängig ist. Der unerwünschte Sperrstrom der „realen Diode" wiederum verursacht im Produkt mit der wesentlich höheren Sperrspannung ebenfalls eine nicht vernachlässigbare Erwärmung. Man hat also im Einsatz darauf zu achten, daß die Summe beider Leistungen unterhalb der zulässigen bleibt, bzw. man muß die Diode (den Gleichrichter) entsprechend kühlen (vgl. Bild 22). Die uns interessierenden Bauformen von Gleichrichtern zeigt Bild 23.

3.3.1. Schaltungen zur Gleichrichtung

Bild 24 informiert über die wichtigsten Schaltungsarten beim Einsatz von Gleichrichtern. Im einfachsten Falle nutzt man nur eine Halbwelle der Eingangswechselspannung aus, d. h., der Gleichrichter liefert in der Hälfte der Zeit nichts. Für den Ausgleich zu einer mittleren Spannung sorgt ein nachgeschalteter Kondensator genügender Größe. Die Größe des Kondensators richtet sich nach dem Strom, den man der Gleichrichterschaltung

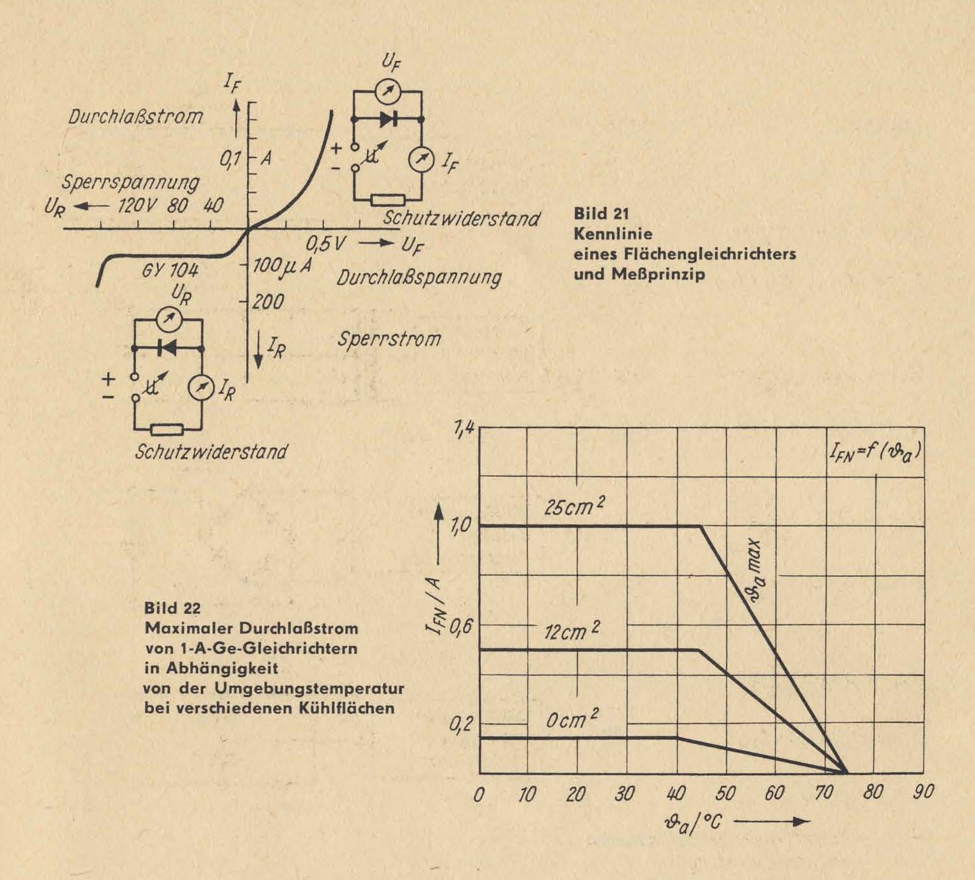


Bild 21
Kennlinie eines Flächengleichrichters und Meßprinzip

Bild 22
Maximaler Durchlaßstrom von 1-A-Ge-Gleichrichtern in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur bei verschiedenen Kühlflächen

Bauform	Anschlüsse	max. Durchlaßstrom	Richtwert f. Sperrspanng.	ähnl. Typ
	+	100 mA	12...200 V	GY 099 ... 105
(Gewinde M3)	+	1A (m. Kühlfläche)	12...200 V	GY 109 ... 115
	+ Reihe SY101 ...110; + Reihe SY121 ...130	1A	50...1000 V	SY 101 ... 130

Bild 23
Bauformen der für den Plan interessierenden Gleichrichter

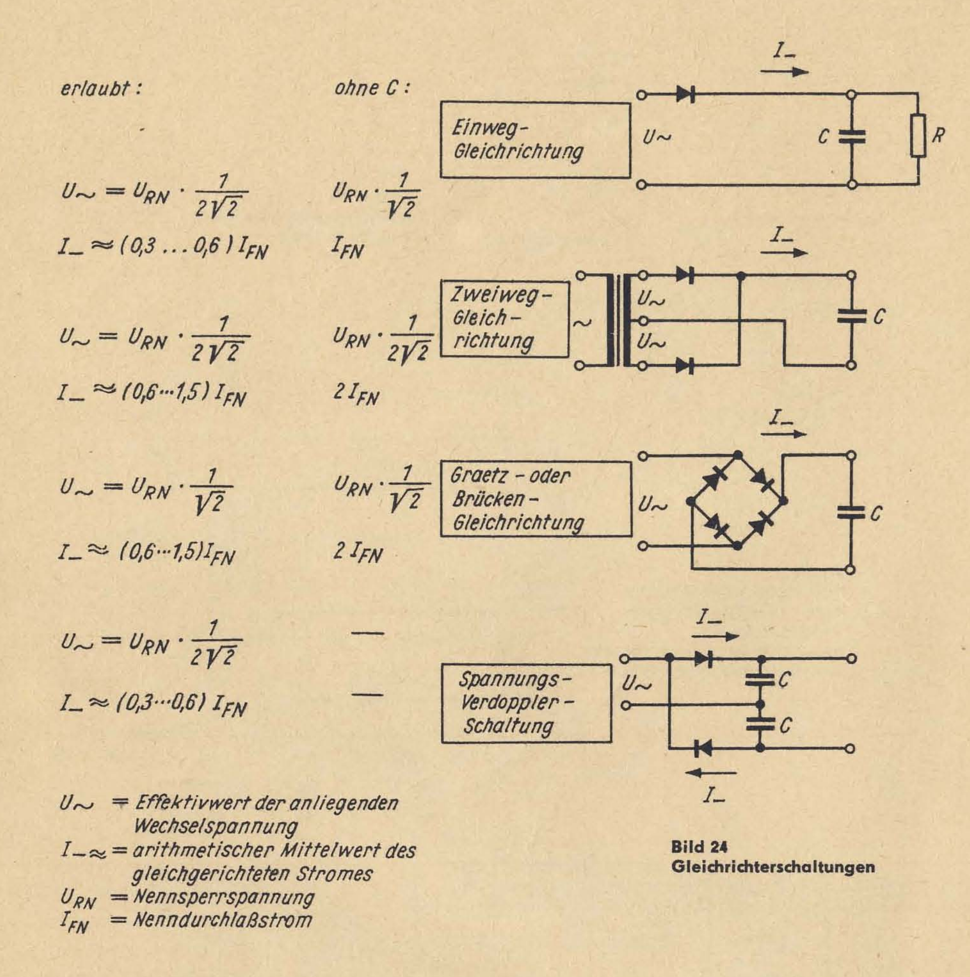
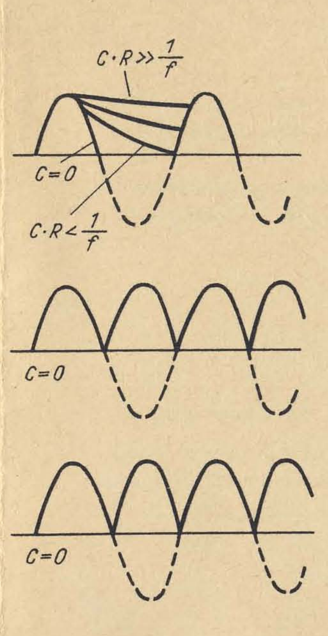
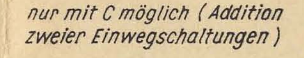


Bild 24
Gleichrichterschaltungen

entnehmen will, und der dabei gewünschten Spannung sowie ihrer „Welligkeit" (überlagerte restliche Wechselspannung). Bei gleichem Kondensator wird die Welligkeit kleiner, wenn man beide Halbwellen ausnutzt. Das kann bei mittelangezapftem Trafo durch 2, bei einer einfachen Wicklung durch 4 Gleichrichter (Graetz-Schaltung) geschehen. Ebenfalls beide Halbwellen werden in der Spannungsverdopplerschaltung ausgenutzt, jedoch gewissermaßen in Serie, so daß sich diese Schaltung bei Belastung wesentlich ungünstiger verhält. – Die Bekämpfung dieser Welligkeit (Brummspannung genannt) mit Hilfe von Siebketten und deren Berechnung in Abhängigkeit vom gewünschten Gleichstrom beschreibt für den Anfänger z. B. ⟨5⟩ im Abschnitt „Stromversorgung von funktechnischen Geräten".

Wichtig erscheint aber noch der Hinweis auf die an einem Gleichrichter bei Abschluß mit Kondensator auftretende maximale Sperrspannung. Fehlt die Last, so lädt sich der Kondensator auf den Scheitelwert der Wechselspannung auf. Das ist der etwa 1,4fache Betrag des Effektivwerts bei Sinusspannung. In der Sperrphase liegt also von der einen





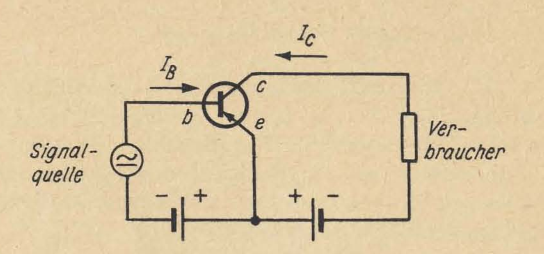


Bild 25
Transistor in Emitterschaltung.
I_B bei Vorstufen einige 10 µA bis 100 µA,
bei Endstufen
bis zu einigen Milliampere.
I_C bis zu einigen Milliampere bei Vorstufen,
einige 100 mA bei Endstufen;
b – Basis, e – Emitter,
c – Kollektor

Seite diese Kondensatorspannung am Gleichrichter, während von der anderen Seite maximal (und kurzzeitig) der gleiche Wert, umgekehrt gepolt, anliegt. Damit wird der Gleichrichter mit $2 \times 1{,}4\, U_{eff}$ beansprucht, bei 220 V Wechselspannung also mit mehr als 600 V!

Schließlich ist noch zu beachten, daß auch der Spitzenstrom durch den Gleichrichter wesentlich über dem im Verbraucher gemessenen mittleren Strom liegt (weil für einen bestimmten mittleren Gleichstrom über die gesamte Periode, z. B. bei Einweg-Gleichrichtung, ein entsprechend größerer Strom über nur die halbe Periode geliefert werden muß, dessen Augenblickswert sich außerdem wegen der Sinusspannung noch ändert).

3.3.2. Funktionstest

Der Gleichrichter muß in Sperr- und in Durchlaßrichtung unterschiedlichen Widerstand zeigen, wenn man z. B. mit der gleichen Spannung mißt. Jedes Ohmmeter genügt, um das festzustellen. Diese Instrumente arbeiten mit Spannungen zwischen 1,5 und 4,5 V; der Gleichrichter ist als funktionsfähig anzusehen, wenn man bei z. B. 4,5 V Meßspannung einen Sperrwiderstand von möglichst weit über 500 kΩ bei der Bauform SY 100

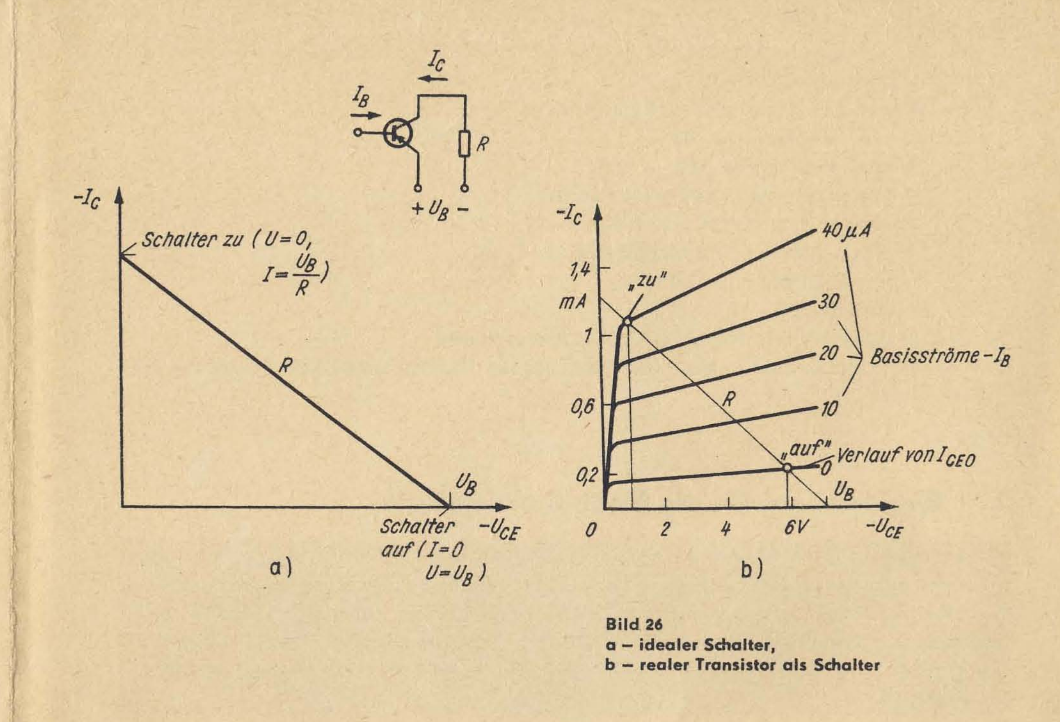


Bild 26
a – idealer Schalter,
b – realer Transistor als Schalter

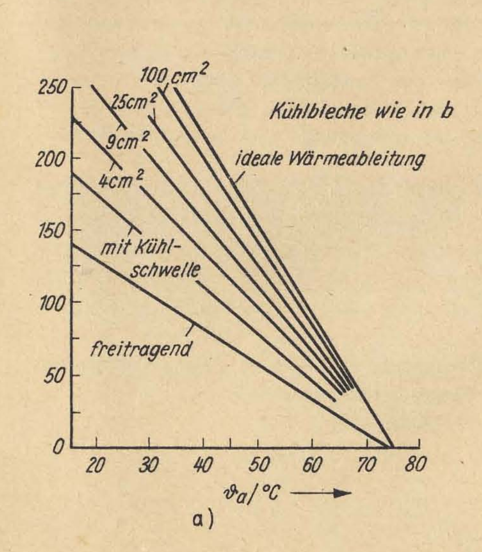
(1-A-Siliziumgleichrichter), 50 kΩ bei den Bauformen GY 100 und GY 110 sowie 5 kΩ bei der Bauform GY 120 (10-A-Germaniumgleichrichter) antrifft. Das sind selbstverständlich nur ganz grobe Richtwerte, gültig bei kleineren Spannungen.

3.4. Transistor

Kernstück von einigen der in diesem Bauplan beschriebenen Schaltungen ist der Transistor. Dieses noch relativ junge Bauelement vermag kleine Eingangsströme, um den ihm eigenen (exemplarabhängigen) Stromverstärkungsfaktor vergrößert, an einen zweiten Stromkreis abzugeben. Wegen der unterschiedlichen Ein- und Ausgangswiderstände kommt in der hier verwendeten Emitterschaltung (Emitter als gemeinsame Elektrode für beide Stromkreise) noch eine Spannungsverstärkung hinzu. Bild 25 gibt symbolisch über alles Wissenswerte Auskunft. Statt der dort gezeigten beiden Batterien genügt in Wirklichkeit eine im Kollektorstromkreis, aus der man mit mindestens einem weiteren Widerstand den „Arbeitspunkt" des Transistors einstellt. Bei Schaltverstärkern entfällt diese Einstellung oft.
Gerade diese Anwendung aber ist es, die uns bei der Modellbahnelektronik meist besonders interessiert. Auch ein Transistor kann als Relais eingesetzt werden, und er erfüllt diese Funktion sogar ohne bewegte Teile. Ein relativ kleiner Basisstrom vermag ihn zu

Bauform	Anschlüsse	Verlustleistung ohne Kühlung	Verlustleistung mit Kühlung	I_{Cmax} (mA)	ähnl. Typ	Verwendung
	b, e, c	30 mW	—	15	OC 870 ... 872, GC 100, GF 100	NF; HF bis wenige MHz
	e b c	25; 50 mW	100 mW	10; 50 (135)	OC 811, OC 816, OC 821	NF Kleinleistg.
	b, e, c	70 mW	120 mW	150	GC 116, GC 121	NF Kleinleistg.
l	b, e, c; l = 38 (NF)	150 mW		150	OC 824 ... 829	wie GC 121
	e, b, c; Kenn-Eindruck	0,5 W (Gehäuse)	1,5 W mit, (°) 4 W ohne Kenn-Eindruck (Kühlung Alu-Blech 100 bzw. 200 cm²)	1A (°) 3 A	GD 100 ... 130, GD 150 ... 180	NF-Leistungsstufen, Gleichspannungswandler

Bild 27
Transistorbauformen – teilweise als billige Basteltypen erhältlich



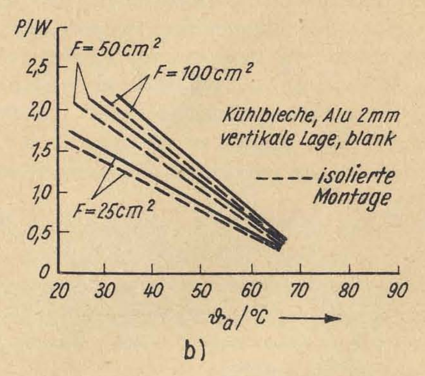


Bild 28
Zulässige Verlustleistung eines Transistors in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur für verschieden gute Kühlung (Blech 2 mm Al, senkrecht montiert);
a – Reihe GC 120,
b – Reihe GD 100

öffnen, so daß durch einen im Kollektorkreis liegenden Verbraucher plötzlich Strom fließt. Wäre der Transistor ein idealer Schalter, dann könnte für diesen Strom gelten $I = \frac{U_B}{R}$ (s. Bild 26).

Leider ist das nicht so. „Schuld" daran hat die Kniespannung, verursacht durch den nicht längs der I-Achse verlaufenden Anstieg des Transistorkennlinienfelds $I_C = f\ (U_{CE})$ mit dem Basisstrom als Parameter. Aber auch im „offenen" Schalterfall gilt keineswegs $I = 0$, denn der Widerstand des Transistors ist nicht unendlich groß. Schon von einer recht geringen Kollektorspannung ab fließt der Sperrstrom unabhängig von dieser, bis er für zu hohe Kollektorspannungen entweder in einen Durchbruchstrom übergeht oder infolge der Aufheizung durch das Produkt von Sperrstrom und Kollektorspannung immer mehr ansteigt. Die Kcmbination beider Wirkungen verdeutlicht Bild 26. Das Besondere am Sperrstrom ist seine Temperaturabhängigkeit. Erst dadurch wird ein hoher Reststrom, wie man ihn beim Transistor nennt, so unangenehm: Bei 7 bis 10 °C Temperaturerhöhung verdoppelt sich jeweils sein Wert. So kann es leicht geschehen, daß sich bei größeren Restströmen und entsprechend hoher Kollektorspannung durch die einsetzende Erwärmung der Reststrom selbst „hochschaukelt" und schließlich – wenn keine Begrenzung in der Schaltung vorgesehen ist – den Transistor zerstört. Ähnliches gilt auch für Dioden.

Transistoren sind also sehr empfindlich gegen höhere Temperaturen und elektrische Überlastung (zu hohe Spannung, falsche Polung usw.). Man halte sich daher eng an die in den Schaltungen gegebenen Werte. Für uns genügt es außerdem zu wissen, daß Transistoren u. a. nach ihrer zulässigen Verlustleistung eingeteilt werden: Die kleinsten darf man bei Zimmertemperatur mit etwa 30 mW, andere mit 50 bis 100 mW, die größeren mit 1 bis 4 W belasten (vgl. Bild 27). Dies erfordert aber metallische Kühlflächen, für die sich auch isolierte Metallteile der Anlage (Blechgehäuse u. ä.) eignen. Bild 28 zeigt die Abhängigkeit der zulässigen Verlustleistung von Temperatur und Kühlfläche für GC 100 und GD 100.

Ein Transistor eignet sich um so besser, je größer seine Stromverstärkung ist und je kleiner der Kollektorreststrom (d. h. der Strom, der schon ohne Basisstrom fließt und sich etwa alle 7 °C verdoppelt). „Normale" Germaniumtransistoren haben in Emitterschaltung Stromverstärkungen zwischen 30 und 150 sowie Restströme unter 200 μA (bei Zimmertemperatur).

Im übrigen kann es nicht schaden, statt der 4-W-Transistoren aus der DDR-Produktion an überlastungsgefährdeten Stellen (mögliche Kurzschlüsse) Transistoren größerer Leistung (z. B. ASZ 1015, VR Ungarn) einzusetzen, die im Handel erhältlich sind.

Den Transistor als Schalter im Vergleich zum Relais behandelt 3.5.

3.4.1. Funktionstest an Transistoren

Auch beim Transistor kann man zunächst prüfen, ob die beiden „Teildioden", als die man die Strecken E–B und C–B ansehen kann, in Ordnung sind. Das muß aber bei Strömen und Spannungen geschehen, die der Transistor noch verträgt, also eingangsseitig unter 0,5 mA für Vorstufen- und Kleinleistungstransistoren, unter 100 mA für Leistungstransistoren. In allen Fällen liegen dann an der Eingangsstrecke zwischen 100 und 500 mV. Bild 29 deutet eine ganz einfache Schaltung an, mit der man zumindest zwischen „Leerlauf" (also Unterbrechung) und Kurzschluß zwischen den Transistorelektroden unterscheiden kann. Diese Schaltung ist so bemessen, daß der Transistor keinesfalls beschädigt wird.

3.5. Relais

Die „Ausgabe" des verstärkten Signals erfolgt bei Schaltvorgängen oft durch ein Relais. Prinzipiell handelt es sich dabei ebenfalls um einen Verstärker: In eine Drahtspule wird der Erregerstrom geschickt. Bei einer bestimmten Höhe dieses Stromes zieht das Relais an, denn das im Kern entstehende Magnetfeld vermag jetzt eine entsprechende Kraft auf den Anker auszuüben. Der Anker wiederum schließt oder öffnet einen bzw. mehrere Kontakte. Diese Kontakte aber können in anderen Stromkreisen im Vergleich zum Erregerstrom wesentlich größere Ströme schalten.

Übrigens fällt der Anker erst dann wieder ab, wenn der Erregerstrom recht erheblich unter den Anzugsstrom sinkt. Man braucht also eingangsseitig ein möglichst großes Verhältnis von Ein- und Abschaltstrom, das vom Schaltverstärker in Verbindung mit der Signalquelle aufzubringen ist.

3.5.1. Vergleich zwischen Relais und Transistor

In seiner Funktion ist das Relais einem als Schalter betriebenen Transistor sehr ähnlich. Ein kleiner Eingangsstrom bewirkt, daß ein erheblich größerer Ausgangsstrom fließt. Da der Steuerstrom durch den Wicklungswiderstand geschickt wird, benötigt man dazu eine bestimmte Spannung, nämlich $U = R_w \cdot I_{an}$ (I_{an} = zum Anziehen des Relaisankers nötiger Strom). $U \cdot I_{an}$ geht dabei als Leistung in der Wicklung verloren. Es schadet daher nichts, wenn ein Relais einmal mit etwas größerem Strom angesteuert wird, wenn das nicht dauernd geschieht. Erst dann würde sich die Wicklung unzulässig erwärmen.

Auch der Transistor braucht Steuerleistung. Wievielmal größer die vom Transistor geschaltete Leistung sein darf, das wird von seinem maximal zulässigen Strom bestimmt

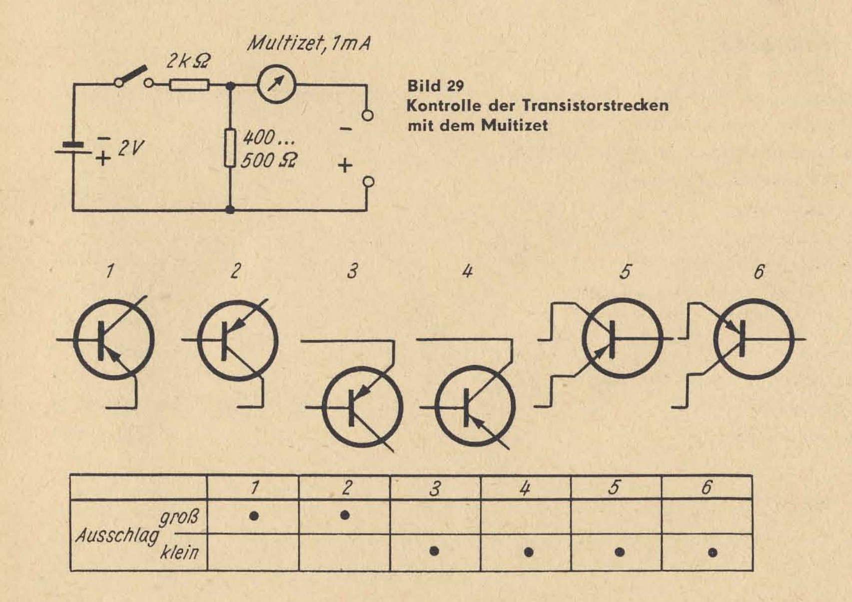


Bild 29
Kontrolle der Transistorstrecken mit dem Multizet

		1	2	3	4	5	6
Ausschlag	groß	•	•				
	klein			•	•	•	•

und von der im Sperrzustand erlaubten Kollektorspannung. Es ist dabei irrig, anzunehmen, bei z. B. 20 V maximaler Kollektorspannung und einem maximalen Kollektorstrom von 3 A würde der Transistor mit 3 · 20 = 60 W belastet. Das Prinzip erkennt man aus Bild 26 (wenn dort auch andere Werte eingetragen wurden): Bei gesperrtem Transistor („Schalter auf") ist $P_{V_{zu}} = I_{Crest} \cdot U_{Cmax}$; also z. B. etwa 1 mA · 20 V, um im genannten Beispiel zu bleiben. Das sind aber nur 20 mW. Im Öffnungszustand dagegen multipliziert sich die niedrige „Kniespannung" mit dem großen Arbeitsstrom, als 0,3 V · 3 A. Das ist schon wesentlich mehr, nämlich etwa 1 W. Allerdings bleibt das noch weit unter dem, was man einem 4-W-Transistor zumuten darf, und läßt sich nicht mit den 60 W geschalteter Leistung vergleichen.

Beim Relais liegen diese Verhältnisse noch wesentlich günstiger. Einem von der Isolation der Kontakte bestimmten Öffnungswiderstand (viele Millionen Ohm) stehen wenige Milliohm Schaltwiderstand gegenüber. Ein weiterer Vorzug besteht darin, daß mit nur wenig zusätzlicher Steuerleistung mehrere Stromkreise unverkoppelt geschaltet werden können. Dazu sind lediglich entsprechend viele Federkontaktsätze nötig. Diesen Vorteilen steht ein Nachteil gegenüber, der uns bei der Modellbahn nicht stört: Transistoren sind viel schneller im Schalten; entsprechend konstruierte Relais lassen sich günstigstenfalls 150mal in der Sekunde betätigen. Außerdem ist es im Volumen oft vorteilhafter, einen Transistor einzusetzen, wenn nur ein Weg geschaltet werden muß.

Die Kontaktbelastbarkeit eines Relais hängt u. a. von Material, Fläche und Abstand ab. Den Sicherheitsbestimmungen gemäß dürfen räumlich kleine Relais auch nur kleine Spannungen schalten. Die Kleinrelais der Reihe GBR 301 z. B. sind für maximal 100 V ausgelegt. Ihre Kontakte halten etwa 1 A aus. Genau wie beim Transistor tritt aber wegen der angegebenen Widerstände dabei natürlich nicht eine Leistung von 100 W am Kontakt auf. Man darf außerdem nicht 1 A bei 100 V schalten, sonst bilden sich Lichtbögen, und die Kontakte verschmoren; sie können sogar zusammenschweißen. Daher wird im Katalog auch die maximale Schaltleistung angegeben. Sie gilt für Stromkreise mit ausschließlich Ohmschen Widerständen. Kondensatoren (ihr Ladestrom ist im ersten Augenblick sehr hoch) und größere Spulen, die eine hohe Öffnungsspannung liefern, sind gefährlicher. In solchen Fällen gehe man vom „kritischsten" Wert aus. Unsere Anwendungen berührt das alles jedoch relativ wenig; die Schaltungen sind erprobt, und größere Spannungen treten nicht auf.

Wicklungsseitig wird allerdings bei Ansteuern eines Relais großer Windungszahl mit einem Transistor eine Diode parallel zur Wicklung empfohlen. Sie soll die hohe negative Spannungsspitze beim Sperren des Transistors auf ein ungefährliches Maß beschneiden. Ursache für diese Spannung ist das beim Abschalten des Spulenstroms zusammenbrechende Magnetfeld, das diesen Strom aufrechtzuerhalten versucht, obwohl der Stromkreis geöffnet wurde. Die Spitze des Diodensymbols zeigt nach dem Kollektoranschluß der Relaisspule.

3.5.2. Kenngrößen von Relais

Beim Betrieb eines Relais wird man feststellen, daß einem bestimmten Anzugsstrom ein kleinerer notwendiger Haltestrom (etwa 50 % des Anzugswerts) und ein noch kleinerer Abfallstrom gegenüberstehen. Das liegt in der Wirkungsweise begründet: Ein Magnetfeld, dessen Größe von Strom und Windungszahl abhängt, zieht den beweglichen eisernen Anker zum Spulenkern hin. Je näher dieser Anker dem Kern kommt, um so stärker

wirkt das Feld, denn der gegen Eisen wesentlich größere magnetische Widerstand des „Luftspalts" sinkt, wenn sich der Spalt verkleinert. Im gezogenen Zustand ist daher ein kleinerer Strom ausreichend, um den Anker gegen die Rückholkraft der Feder am Kern zu halten. Sinkt der Strom, so wird schließlich der Punkt erreicht, da die Federkraft überwiegt. Erst dann fällt das Relais wieder ab. Damit dieses Verhältnis nicht zu hoch wird, enthält der Anker einen „Klebestift" aus nichtmagnetischem Material. Fehlt dieser, so haftet der Anker lange am Eisenkern – er „klebt".

Die von dem Produkt I · w abhängige Kraft, mit der der Anker gegen die Federwirkung des Kontaktsatzes angezogen wird, erfordert je nach Bauform und Kontaktzahl etwa 100 bis 400 Amperewindungen (Dimension A). Im ersten Fall (100 A) würden also 100 A bei einer Wdg. oder 1 A bei 100 Wdg. oder 0,1 A bei 1000 Wdg. nötig sein, damit der Anker angezogen wird. Tatsächlich lassen sich für jeden Relaistyp mehrere Möglichkeiten finden und auf diese Weise die verschiedensten Wünsche befriedigen. Es ist nämlich zu bedenken, daß der Wickelraum eines Relais konstantbleibt, gleichgültig, wieviel Windungen untergebracht werden. Da ein kleiner Strom für einen bestimmten Wert von I · w viele Windungen erfordert, muß also der Draht sehr dünn werden. Damit wächst sein Widerstand. Folgerung: Die Spannung, mit der überhaupt erst der gewünschte Strom durch die Wicklung geschickt werden kann, wächst mit w. Umgekehrt: Soll z. B. ein Relais durch den Fahrstrom einer Lok betätigt werden, so wünscht man sich einen möglichst kleinen Spannungsabfall am Relais. Lösung: Man wickelt mit dickem Draht, und der Spulenkörper füllt sich mit entsprechend weniger Windungen.

Dieser qualitativen Betrachtung müssen einige Formeln folgen, sonst wird die Arbeit zwar in der Tendenz richtig angefangen, aber sie bleibt dennoch ein „wildes" Probieren. Wie liegen also die Verhältnisse?

3.5.3. Umwickeln eines Relais auf andere Betriebsspannung

Wegen des konstanten Wickelraums und der Bedingung I · w = konst. gelten folgende *Näherungen* (genau deshalb nicht, weil der Füllfaktor von Drahtdurchmesser und Sorgfalt beim Wickeln abhängt und weil man nie genau den errechneten Drahtdurchmesser haben wird):

Strom: Wegen $I_1 \cdot w_1 = I_2 \cdot w_2$ gilt $I_2 = I_1 \cdot \frac{w_1}{w_2}$ (1). Drahtdurchmesser: Da der Wickelraum, ausgedrückt durch die Wickelfläche F_w, konstantbleibt und (gleichen Füllfaktor angenommen) damit $F_w = k \cdot w_1 \cdot d_1^2 = k \cdot w_2 \cdot d_2^2$ wird, gilt

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{w_1}{w_2}} \quad (2)$$

k ist ein Faktor, der $\frac{\pi}{4}$ und den Füllfaktor des Drahtes enthält. Er kürzt sich heraus, wird also uninteressant.

Widerstand: Mit Hilfe von (2) und der dort genannten Bedingungen ergibt sich über $R = \varrho \cdot \frac{l}{q}$ (ϱ = spezifischer Widerstand, l = Drahtlänge, q = Drahtquerschnitt, also $q = \frac{\pi d^2}{4}$) mit $l = l_m \cdot w$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad \text{oder mit (2)} \quad R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2 \quad (3)$$

l_m ist die nur vom Wickelkörper abhängige mittlere Windungslänge, kürzt sich also ebenfalls heraus.

Spannung: Aus (1) und (3) erhält man wegen

$U_1 = I_1 \cdot R_1$ und $U_2 = I_2 \cdot R_2$ über $\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$ $\qquad U_2 = U_1 \cdot \frac{w_2}{w_1}$ (4)

Gegeben sei nun ein Relais, von dem wir durch eine Strom- und Spannungsmessung unter Ausnutzung des Fahrtrafos oder einer Gleichrichterschaltung mit einstellbarer Spannung sowie mit Hilfe eines Strom- und Spannungsmessers folgendes wissen:
Sicherer Anzug erfolgt bei 5,6 V (also Nennspannung 6 V) und 14 mA. Das bedeutet einen R 1 von 400 Ω. Der Bauform nach handelt es sich um ein mittleres Rundrelais; es trägt 2 Kontaktsätze. Bei diesem Typ rechnet man $I \cdot w = (65 + 25 \cdot \text{Kontaktsatzzahl})$ Amperewindungen.
Das bedeutet also im Beispiel etwa 115 Amperewindungen. Daher hat das Relais z. Z. $\frac{115\,A}{14 \cdot 10^{-3}\,A} = 8200$ Windungen. Gewünscht wird Ansprechen bereits bei 1 V Nennspannung. Wir rechnen mit etwas Sicherheit und setzen 0,95 V an. Gesucht werden I_2, d_2, R_2 und w_2. Es fällt nicht schwer, dies aus den eben abgeleiteten Formeln zu berechnen, wobei man für I_2 z. B. Gl. (4) in (1) einsetzt, weil die Spannungen schon bekannt sind, die Wicklung w_2 aber noch nicht. Diese kann andererseits aus Gl. (4) durch Umstellen gewonnen werden. So erhält man dann mit (3) auch leicht R_2.
Es fehlt d_2. Dazu erinnern wir uns an F_w, die Wickelfläche. Sie ist das Produkt aus Spulenlänge und Wickelhöhe, gemessen vom Kammergrund. Davon geht ein gewisser Prozentsatz ab, da sich dieser Raum nie restlos und ohne „Luft" für den Draht ausnutzen läßt. U. a. sind Deckisolation, Bindegarn und manchmal herauszuführende Wicklungsenden zu berücksichtigen. Für das mittlere Rundrelais erhält man $F_w = 2{,}35\ cm^2$, für das „Flachrelais 48" $3{,}3\ cm^2$. Bild 30 zeigt nun eine Kurve, aus der man für einen beliebigen Drahtdurchmesser die je cm^2 unterzubringende Windungszahl abschätzen kann – wegen des logarithmischen Maßstabs beider Achsen allerdings nicht besonders genau. Unsere 8200 Wdg. füllen $2{,}35\ cm^2$, also kommen etwa 3500 Wdg. auf einen cm^2. Dafür liest man einen Drahtdurchmesser von etwa 0,13 mm ab. Kombiniert man Gl. (2) mit (4), so wird $d_2 = \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} \cdot d_1 = 0{,}31$ mm. Man wählt dann 0,3 oder 0,32 mm, je nach Möglichkeit. Man wird ohnehin vom vorhandenen Draht ausgehen und rückwärts danach die neuen Daten berechnen müssen.

3.5.4. Betrieb eines Relais bei höheren Strömen und Spannungen

Es wurde bereits erwähnt, daß man bei Dauerbetrieb möglichst Nennstrom und Nennspannung nicht überschreiten sollte. Bei Kurzbetrieb und längeren Pausen dagegen kann das Produkt aus Betriebsstrom und Betriebsspannung auch einmal doppelt so hoch sein, wenn die Erwärmung tragbar bleibt. In allen anderen Fällen helfen Widerstände.

Fall 1
Spannung höher als U_{nenn}, Stromverbrauch des Relais zulässig. Ein Vorwiderstand der Größe $\frac{U - U_{nenn}}{I_{nenn}}$ löst das Problem. Er muß natürlich mit $(U - U_{nenn}) \cdot I_{nenn}$ belastbar sein.

Fall 2
Strom höher als I_{nenn}, Spannungsabfall am Relais soll nicht höher als U_{nenn} werden (praktisches Beispiel: Relais in Serie mit Lok). In diesem Falle wird mit einem Widerstand der Größe

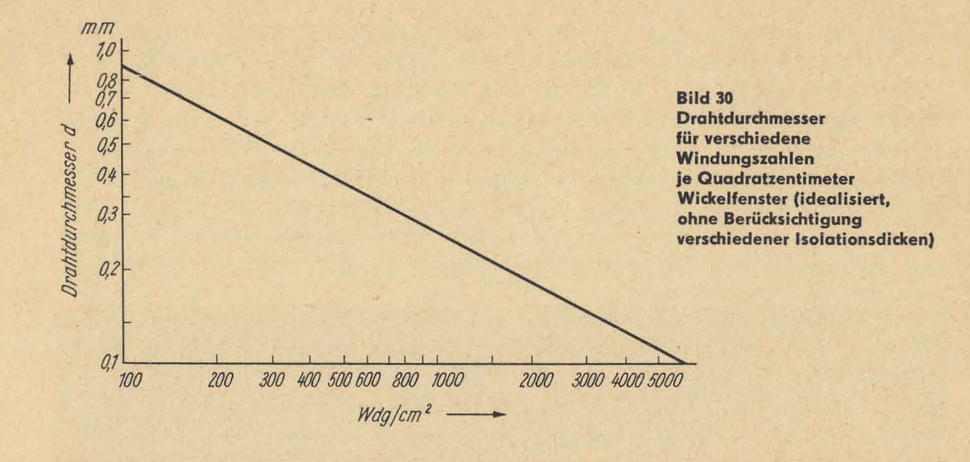


Bild 30
Drahtdurchmesser für verschiedene Windungszahlen je Quadratzentimeter Wickelfenster (idealisiert, ohne Berücksichtigung verschiedener Isolationsdicken)

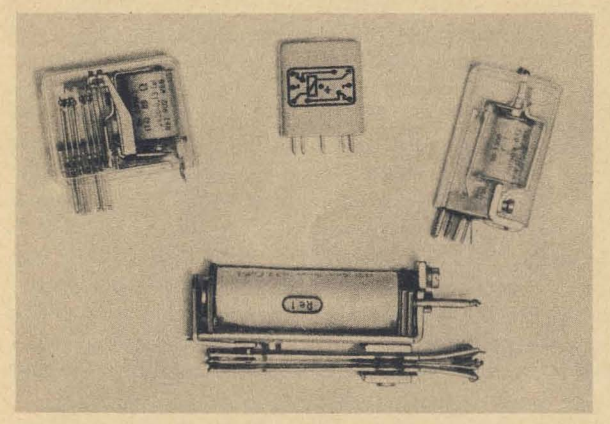


Bild 31
Verschiedene Relaistypen: mittleres Rundrelais, GBR 302, gekapseltes Relais GBR 101, Stuhrmannrelais

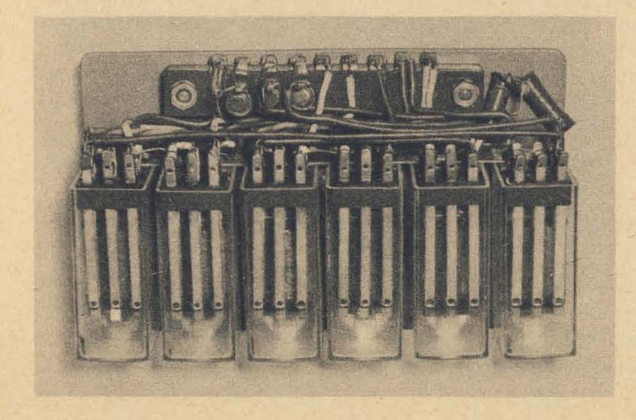


Bild 32
Beispiel eines Relaissatzes für ein Blockschaltsystem und für andere Zwecke

$$\frac{U_{nenn}}{I - I_{nenn}}$$

„geshuntet", d. h., der Widerstand wird als Nebenschluß parallel zur Relaiswicklung gelegt. Seine Belastbarkeit muß mindestens der Leistung $U_{nenn} \cdot (I - I_{nenn})$ entsprechen.

Diese Ausführungen konnten nur einen kleinen Einblick in das umfangreiche Gebiet der Relais geben. Viel Wissenswertes dazu, verbunden mit zahlreichen Tabellen der in der DDR gebräuchlichen Relaistypen, bringt die Broschüre von D. Franz, „Relaisschaltungen für Bastler" ⟨4⟩, die in der Reihe „Der praktische Funkamateur" bereits in zweiter Auflage erschien. Wir entnehmen ihr den Beschriftungsschlüssel für die uns am meisten interessierenden Relaistypen, deutlich gemacht an einem Beispiel:

(1–5) I 1000–13400–0,12 CuL

(1–5)	Wicklungsanschlüsse an den Lötösen 1 und 5
I	1. Wicklung (wenn das Relais mehrere hat)
1000	Wicklungswiderstand in Ω
13400	Anzahl der Windungen
0,12	Drahtdurchmesser (ohne Isolation gemessen) in mm
CuL	Drahtmaterial (hier Kupferlackdraht)

Unter dieser Beschriftung findet man meist noch eine Herstellerbezeichnung und eine Bauvorschriftennummer, z. B. RFT 308 VEB und 4720:30–43. Beides ist für uns ohne Bedeutung.

Auf die Angabe der Beschaltung können wir für den Bauplan verzichten; in Zweifelsfällen (bei mehreren Wicklungen, was selten vorkommt) greife man auf die genannte Broschüre zurück.

Bild 31 zeigt einige der für uns interessantesten Relaistypen.

4. Richtpreise

Die Angaben können je nach Gelegenheit im örtlichen Angebot schwanken und sind daher nur als Richtwerte aufzufassen.

Kleinleistungstransistoren je nach Qualität (Basteltypen wesentlich billiger)	3,00 bis 6,00 MDN
Leistungstransistoren (preiswerte Basteltypen erhältlich)	5,00 bis 10,00 MDN
Widerstände 0,05 W und 0,1 W	0,20 MDN
regelbarer Widerstand (Einstellregler)	1,00 MDN
NV-Elkos	1,50 MDN
Spitzendioden	1,00 MDN
1-A-Gleichrichter je nach Sperrspannung	2,00 bis 10,00 MDN
Relais GBR und ST	7,00 bis 10,00 MDN
Fotowiderstand CdS 8	13,00 MDN

5. Bezugsquellen für elektronische Bauelemente

Da sich Fachgeschäfte für Modellbahnen ohnehin in jeder größeren Stadt befinden, sei an dieser Stelle nur zum Bezug von elektronischen Bauelementen einiges gesagt. Sehr oft erhält man die Bauelemente schon in einer anderen Abteilung der genannten Geschäfte, da viele von ihnen auch die Belange des Funkamateurs befriedigen. Stellvertretend für alle anderen aber steht die bekannte Verkaufsstelle „funkamateur" in 8023 Dresden, Bürgerstraße 47, die inzwischen zum Versandhaus für Amateurbedarf für die gesamte DDR im Rahmen des RFT-Industrievertriebs geworden ist. Filialen des RFT-Industrievertriebs befinden sich in jeder größeren Stadt. Auch die meisten Spezialgeschäfte für Bauelemente der Rundfunktechnik dürften die genannten Teile führen.

6. Literatur

Dem Modellbauer ist sicher die Literatur für sein spezielles „Bahnhobby" bekannt, daher sei lediglich auf die elektronische Seite verwiesen. Es handelt sich vor allem um die Broschürenreihen „Der junge Funker" und „Der praktische Funkamateur" des Deutschen Militärverlags, außerdem um Baupläne der vorliegenden Reihe, aus der wir auch einige Erläuterungen zu den Bauelementen entnahmen:

Elektronische Schalt- und Überwachungsgeräte ZERBERUS I bis VI, Bauplan Nr. 3
Prüfgeräte für Transistoren und Dioden, Bauplan Nr. 4
Transistor-Elektronik für Modellbahnen I, Bauplan Nr. 5, der die Ergänzung zu diesem Bauplan bildet.

Speziell empfohlen werden aus der Reihe „Der praktische Funkamateur":
⟨1⟩ Morgenroth: Funktechnische Bauelemente I (Heft 23)
⟨2⟩ Morgenroth: Funktechnische Bauelemente II (Heft 37)
⟨3⟩ Morgenroth: Funktechnische Bauelemente III (Heft 46)
⟨4⟩ Franz: Relaisschaltungen für Bastler (Heft 48)

Zahlreiche zusätzliche Anregungen vermitteln:
⟨5⟩ Das große Radiobastelbuch von K.-H. Schubert
⟨6⟩ Das große Elektronikbastelbuch von H. Jakubaschk

und speziell zur Halbleitertechnik:
⟨7⟩ Transistortechnik für den Funkamateur von H.-J. Fischer

Redaktionsschluß: 30. März 1967 · 1.–25. Tausend · Deutscher Militärverlag · Berlin 1967 · Lizenz-Nr. 5
Lektor: Sonja Topolov · Zeichnungen: Erich Böhm · Typografie: Günter Hennersdorf · Vorauskorrektor: Hans Braitinger · Korrektor: Ingeborg Kern · Hersteller: Werner Briege · Gesamtherstellung: Sachsendruck Plauen